

VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

**SPOLEHLIVOST OBNOVITELNÝCH
ZDROJŮ V ENERGETICKÝCH
SOUSTAVÁCH**

Doktorská disertační práce

Vypracoval: Ing. Martin Vysloužil
Školitel: prof. Ing. Zdeněk Hradílek, DrSc.

Ostrava 2012

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto disertační práci vypracoval samostatně.

Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

.....
podpis

Datum odevzdání disertační práce: 9. 4. 2012

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl upřímně poděkovat svému školiteli Prof. Ing. Zdeňkovi Hradílkovi, DrSc. za vedení, cenné připomínky a všestrannou pomoc při vyhotovení této práce. Rovněž bych rád poděkoval Ing. Petru Juříčkovi za pomoc při psaní aplikací v MS Excell. Dále bych rád poděkoval Ing. Pavlu Skalnému za cenné rady v oblasti časových řad a statistického zpracování. V neposlední řadě patří mé poděkování Ing. Martinovi Galetkovi, PhD za poskytnutí naměřených dat z větrných elektráren.

Anotace

Obnovitelné zdroje energie (vítr, voda, slunce, biomasa a zemské teplo) skrývají velký potenciál. Závazky České republiky ke snižování emisí skleníkových plynů vedou k podpoře obnovitelných zdrojů energie. Na obnovitelné zdroje je třeba nahlížet nejen z energetického hlediska, ale i z ekonomické výhodnosti těchto zdrojů.

Větrná energie je jeden z rychle se rozšiřujících energetických systémů, který přichází na trh. Produkce větrných elektráren stále velmi rychle roste. Nejvíce se podílí Nizozemsko, Dánsko, Německo a Velká Británie. Největší podíl by měl být soustředěn do zemí s přímořskými oblastmi. Větrná energie by mohla dodávat až 50 % elektřiny v několika zemích, které jsou situovány tak, že mají příznivé povětrnostní podmínky. Kolem poloviny instalovaných elektráren na světě je umístěno u pobřeží Severního moře v Německu a Dánsku. Pobřežní větrné farmy u Severního moře mají velký potenciál pro celou Evropu.

Rychlé rozšiřování větrných elektráren v České republice vede k otázce, co se stochastickými dodávkami energie z těchto elektráren. Výkon větrné elektrárny je závislý na třetí mocnině rychlosti větru, která má značně se měnící charakter. Tato stochastika způsobuje potíže při řízení elektrizační soustavy a musí být doregulována pomocí záloh (sekundární, terciární a dispečerská záloha). To představuje náklady, které se projeví v ceně elektrické energie pro konečného spotřebitele. Jedním ze způsobů řešení tohoto problému je akumulace elektrické energie nebo přesná predikce výkonu větrných elektráren.

Tato disertační práce se zabývá problematikou vyhodnocování dat větrných elektráren, stanovení typových diagramů elektrárny a odchylek od těchto diagramů. Za účelem tohoto vyhodnocení jsou vytvořeny dvě aplikace „zálohy“ a „vyhodnocení“ za pomoci MS Excel.

Klíčová slova

podpůrné služby, větrné elektrárny, aplikace zálohy, klouzavý průměr, statistika, aplikace vyhodnocení.

Annotation

Renewable resources of energy shelter a huge potential (wind, water, sun, biomass and earth's heat). The Czech Republic commitments to reduction of greenhouse effect lead into support of renewable resources of energy. It is important to see the renewable resources not only from power aspect but also from economy propriety of these resources.

Wind power is one of the fast expanding power systems which are coming to the market. Production of wind power plants has been growing up very fast. The biggest share in production has Nederland, Germany and the Great Britain. The biggest share should be focused on the lands with costal places. Wind power could deliver up to 50 % of electricity to several countries, which are situated in the location with favorable wind conditions. About a half of installed wind power plants on the world are located in the North Sea coast of Germany and Denmark. The offshore wind farms in the North Sea have a big potential for the entire Europe.

High expanding of wind powers in the Czech Republic leads to question: what with stochastic supplies of energy from these powers. Electric output of wind power is dependent on mat cube of wind speed which has transformative character. These stochastic supplies cause problems with control of electricity supply system and have to hold cutoff by the help of reserves (secondary, tertiary and control reserve). It presents costs that develop in the price of electrical energy for end-consumer. One of way of solution of this problem is accumulation of electrical energy or exact prediction of power of wind powers.

This thesis deals with problems of data interpretation of wind power, determination of type diagrams of power and variance of these diagrams. With the view of this interpretation are created two applications "reserves" and "evaluation" by the help of MS Excel.

Keywords

supporting services, wind power, applications of reserves, moving average, statistics, application of evaluation

Obsah

1	ÚVOD	14
2	CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE	15
3	PRINCIP VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY	16
3.1	ZÁKLADNÍ ČÁSTI ZAŘÍZENÍ	17
3.2	PROVOZ VĚTRNÝCH ELEKTRÁREN	18
3.2.1	<i>Autonomní systémy</i>	18
3.2.2	<i>Systémy připojené k síti</i>	18
4	PŘÍRODNÍ PODMÍNKY	19
4.1	PERSPEKTIVY VĚTRNÝCH ELEKTRÁREN V ČESKÉ REPUBLICE	20
5	PODPORA VÝROBY ELEKTŘINY Z OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ ENERGIE	21
5.1	POVINNOST VÝKUPU ELEKTŘINY Z OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ ENERGIE	21
5.2	GARANTOVANÁ MINIMÁLNÍ VÝKUPNÍ CENA ELEKTŘINY	21
5.3	PRÁVO VÝROBCE NA ÚHRADU ZELENÉHO BONUSU	21
6	ZPĚTNÉ VLIVY ZDROJE NA DISTRIBUČNÍ SÍŤ A OVLIVNĚNÍ JEJÍ SPOLEHLIVOSTI	22
6.1	ZMĚNA NAPĚTÍ	22
6.2	FLIKR	23
6.3	PROUDY HARMONICKÝCH	23
6.3.1	<i>Hodnota míry rušení THD</i>	24
6.4	ÚTLUM SIGNÁLU HDO	24
7	PODPŮRNÉ SLUŽBY K ZAJIŠTĚNÍ SPOLEHLIVOSTI ENERGETICKÉ SÍTĚ	25
7.1	VLIV VĚTRNÝCH ELEKTRÁREN NA REGULACI VÝKONU	25
7.1.1	<i>Sekundární regulace výkonu</i>	26
7.1.2	<i>Terciární regulace výkonu</i>	26
7.1.3	<i>Dispečerská záloha</i>	27
8	MOŽNOSTÍ AKUMULACE ENERGIE PRO ZLEPŠENÍ SPOLEHLIVOSTI ENERGETICKÉ SÍTĚ	28
8.1	ZPŮSOBY AKUMULACE ENERGIE	28
9	POUŽITÝ MATEMATICKÝ APARÁT	31
9.1	STATISTIKA	31
9.1.1	<i>Statistické charakteristiky</i>	31
9.1.2	<i>Grafické znázornění kvalitativní proměnné</i>	32
9.2	ČASOVÉ ŘADY	32
9.3	DOPLNĚNÍ CHYBĚJÍCÍCH HODNOT	33
9.4	DEKOMPOZICE ČASOVÝCH ŘAD	33
9.5	GRAFICKÁ ANALÝZA ČASOVÝCH ŘAD	35
10	STATISTICKÝ ROZBOR RYCHLOSTI VĚTRU	38
10.1	ZHODNOCENÍ STATISTICKÉHO ROZBORU RYCHLOSTI VĚTRU	45
11	ANALÝZA ELEKTRICKÉHO VÝKONU VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY	46
11.1	KOEFICIENT VYUŽITELNOSTI	46
11.2	ANALÝZA VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY VESTASV90	46
11.3	ZHODNOCENÍ VÝKONU VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY	51
12	APLIKACE VYTVOŘENÉ PRO VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY	53
12.1	CO BYLO POUŽITO PRO NAPSÁNÍ APLIKACÍ	53
12.2	POVOLENÍ MAKER V MS EXCEL 2007	54
12.3	DOINSTALOVÁNÍ DOPLŇKŮ DO MS EXCEL 2007	56

12.4 APLIKACE PRO VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH DAT „VYHODNOCENÍ“	57
12.4.1 Závěr aplikace „vyhodnocení“	65
12.5 APLIKACE PRO STANOVENÍ ODCHYLKY VÝKONU „ZÁLOHY“	66
12.5.1 Závěr aplikace „zálohy“	74
12.6 SPOLEHLIVOST VĚTRNÝCH ELEKTRÁREN A VYTVOŘENÉ APLIKACE	75
13 VYHODNOCENÍ PROVOZU VĚTRNÉHO PARKU POMOCÍ NAPSANÉ APLIKACE	76
13.1 POPIS VĚTRNÉ FARMY	76
13.2 POUŽITÍ APLIKACE „VYHODNOCENÍ“	76
14 PŘÍNOS DISERTAČNÍ PRÁCE	77
15 ZÁVĚR	78
16 CONCLUSION	81
17 PŘÍLOHY	86

Seznam použitých symbolů

c	činitel zařízení flikru	(-)
c_p	součinitel výkonnosti	(-)
C_t	cyklická složka	(-)
D	průměr rotoru	(m)
D_t	trend	(-)
E_t	náhodná (reziduální) složka	(-)
h	počet hodin	(h)
h	výška, ve které se provádí měření	(m)
H	počet hodin (za rok 8760)	(h)
h_0	výška umístění osy rotoru	(m)
I_μ, I_v	proud harmonické	(A)
$i_{vpř}$	vztažný proud	(A/VA)
I_1	proud základní harmonické	(A)
IRQ	interkvartilové rozpětí	(-)
k_b	koeficient vyplývající z Betzova pravidla	(-)
k_r	koeficient využitelnosti	(-)
k_r	koeficient využitelnosti	(%)
p	vliv atmosférické turbulence nabývá hodnot 0-1	(-)
P	výkon	(W)
P_i	instalovaný výkon	(W)
P_i	instalovaný výkon	(kW)
P_{lt}, A_{lt}	dlouhodobá míra flikru	(-)
P_n	jmenovitý výkon	(W)
P_{teor}	teoretický výkon	(W)
r	diskontní sazba	(%)
s	výběrová směrodatná odchylka	(-)
s^2	výběrový rozptyl	(-)
S_A	zdánlivý výkon zařízení	(VA)
S_{Amax}	maximální připojitelný výkon	(VA)
S_{AV}	zdánlivý celkový připojitelný nebo plánovaný výkon	(VA)
S_k	zkratový výkon	(W)
S_{kV}	zkratový výkon v přípojném bodě	(VA)
S_{ng}	jmenovitý zdánlivý výkon výrobního bloku větrné elektrárny	(VA)
S_t	sezónní složka	(-)
T	pořadové číslo hodnoceného roku	(-)
T_p	celková doba posuzování	(rok)
v	rychlost proudícího větru	(m/s)
w_0	střední rychlost větru ve výšce h_0	(m/s)
w_h	vypočítaná rychlost větru	(m/s)
W_r	vyjadřuje roční množství vyrobené energie	(kW/rok)
W_r	vyjadřuje roční množství vyrobené energie (kW/rok)	(kW/rok)
$x_{0,25}$	dolní kvartil	(-)
$x_{0,5}$	medián	(-)
$x_{0,75}$	horní kvartil	(-)

X_k	reaktance na 1 km délky	(Ω/km)
X_t	časová řada	(-)
Z_k	impedance zkratové smyčky	(Ω)
α	výběrová šikmost	(-)
β	výběrová špičatost	(-)
\bar{x}	aritmetický průměr	(-)
\hat{x}	modus	(-)
$\overline{y_t}$	klouzavý průměr	(-)
ρ	hustota vzduchu	(kg/m^3)
φ	fázový úhel	($^\circ$)
v, μ	řád harmonické	(-)
ψ_{kv}	fázový úhel zkratové impedance	($^\circ$)
Δu_{nn}	změna napětí v přípojném bodě nn	(%)
$\Delta u_{vn,110}$	změna napětí v přípojném bodě vn	(%)

Seznam použitých zkratk

AV	Akademie věd
ČEPS	Česká energetická přenosová soustava
ČEZ, a.s.	Česká energetická společnost
DS	distribuční soustava
DZt	dispečerská záloha
ENTSO-E	sekundární regulace výkonu bloku
ERÚ	Energetický regulační úřad
ES	elektrizační soustava
OZE	obnovitelný zdroj energie
Pdg	diagramový bod podle smluvní dodávky uživatelů v obchodním intervalu
PDS	provozovatel distribuční soustavy
PPDS	pravidla provozování distribučních soustav
PpS	podpůrné služby
PPS	provozovatel přenosové soustavy
PS	přenosová soustava
RRSR	Regulační rozsah (SR) $RRSR = RZSR(+) + RZSR(-) $
RZSR	Regulační záloha (SR) – jedná se o obecné označení točivé výkonové zálohy, která je vyčleněna na blocích poskytujících podpůrnou službu sekundární regulace P bloku.
RZSR(+)	Kladná část regulační zálohy (SR) – jedná se o kladnou část točivé výkonové zálohy (směrem nahoru do Pdg), která je vyčleněna na daném bloku poskytujícím podpůrnou službu sekundární regulace P bloku.
RZSR(-)	Záporná část regulační zálohy (SR) – jedná se o zápornou část točivé výkonové zálohy (směrem dolů do Pdg), která je vyčleněna na daném bloku poskytujícím podpůrnou službu sekundární regulace P bloku.
RZTR+	Regulační záloha kladné (TR) – jedná se o (točivou) výkonovou zálohu „směrem nahoru“, která je vyčleněna na bloku poskytujícím podpůrnou službu terciární regulace P bloku.
RZTR-	Regulační záloha záporné (TR) – jedná se o (točivou) výkonovou zálohu „směrem dolů“, která je vyčleněna na bloku poskytujícím podpůrnou službu terciární regulace P bloku.
SR	sekundární regulace výkonu bloku
SyS	systémové služby
THD	celkové harmonické zkreslení
TR	terciární regulace výkonu bloku
VTE	větrná elektrárna

Seznam obrázků:

Obr. 1: Závislost teoreticky využitelného výkonu na rychlosti větru.....	16
Obr. 2: Větrná elektrárna odnímá kinetickou energii vanoucího větru a převádí ji na energii elektrickou.....	17
Obr. 3: Schéma zobrazení větrné elektrárny.....	17
Obr. 4: Větrný atlas České republiky (zdroj: Ústav fyziky atmosféry AV ČR).....	19
Obr. 5: Hustota pravděpodobnosti rychlosti větru v České republice.....	20
Obr. 6: Histogram s výkonem větrné elektrárny pro měsíc leden.....	32
Obr. 7: Spojnicový graf průběhu výkonu větrné elektrárny pro měsíc únor.....	36
Obr. 8: Krabicový graf měsíční časové řady výkonu větrné elektrárny pro rok 2008.....	36
Obr. 9: Graf ročních hodnot měsíční časové řady výkonu větrné elektrárny v období 2007-2009.....	37
Obr. 10: Histogram pro ráno září 2007.....	38
Obr. 11: Histogram pro odpoledne září 2007.....	38
Obr. 12: Histogram pro večer září 2007.....	39
Obr. 13: Histogram pro ráno leden 2008.....	39
Obr. 14: Histogram pro odpoledne leden 2008.....	40
Obr. 15: Histogram pro večer leden 2008.....	40
Obr. 16: Histogram pro ráno únor 2008.....	41
Obr. 17: Histogram pro odpoledne únor 2008.....	41
Obr. 18: Histogram pro večer únor 2008.....	41
Obr. 19: Histogram pro ráno březen 2008.....	42
Obr. 20: Histogram pro odpoledne březen 2008.....	42
Obr. 21: Histogram pro večer březen 2008.....	43
Obr. 22: Krabicový graf září 2007.....	43
Obr. 23: Krabicový graf pro Leden 2008.....	44
Obr. 24: Krabicový graf pro Únor 2008.....	44
Obr. 25: Krabicový graf pro Březen 2008.....	44
Obr. 26: Koeficient využitelnosti větrné elektrárny pro jednotlivé měsíce v roce 2008.....	47
Obr. 27: Koeficient využitelnosti větrné elektrárny pro jednotlivé měsíce v roce 2009.....	47
Obr. 28: Průměrný výkon větrné elektrárny pro jednotlivé fáze dne v roce 2008.....	48
Obr. 29: Průměrný výkon větrné elektrárny pro jednotlivé fáze dne v roce 2009.....	48
Obr. 30: Podíl generatorického chodu a nečinnosti elektrárny pro jednotlivé měsíce v roce 2008.....	49
Obr. 31: Podíl generatorického chodu a nečinnosti elektrárny pro jednotlivé měsíce v roce 2009.....	49
Obr. 32: Průměrný denní výkon větrné elektrárny pro jednotlivé měsíce v roce 2008.....	50
Obr. 33: Průměrný denní výkon větrné elektrárny pro jednotlivé měsíce v roce 2009.....	50
Obr. 34: Porovnání výkonů větrné elektrárny pro dny 1. 1. a 1. 6. 2009.....	51
Obr. 35: Jednorázové povolení makra.....	54
Obr. 36: Povolení obsahu.....	54
Obr. 37: Možnosti aplikace Excel.....	55
Obr. 38: Centrum zabezpečení.....	55
Obr. 39: Povolení maker.....	55
Obr. 40: Instalace doplňku.....	56

Obr. 41: Výběr doplňku	56
Obr. 42: Pohled na okno MS Excel.	57
Obr. 43: Vstupní zadávací tabulka pro generování výstupního listu.	58
Obr. 44: Příklad vstupních dat	59
Obr. 45: Ukázka vyplněného zadávacího listu	60
Obr. 46: Vygenerovaný výstupní list.....	61
Obr. 47: Vstupní zadávací tabulka pro generování souhrnného listu.	62
Obr. 48: Vygenerovaný souhrnný list.....	64
Obr. 49: Náhled na pracovní sešit „Zálohy“	66
Obr. 50: Pracovní část listu „Zadání“	67
Obr. 51: Oblast hodnot v listě „Zádní“	67
Obr. 52: Příklad dat pro vyhodnocení.....	68
Obr. 53: Upozornění na ztrátu návazností s listy.	68
Obr. 54: Zadávací formulář „Základní údaje“.	69
Obr. 55: Start a vstupní údaje.....	69
Obr. 56: Názorná ukázka list „Vte grafy“.....	70
Obr. 57: Vlastní výběr.	71
Obr. 58: Volba měsíců.....	71
Obr. 59: Ukázka listu výběr.	72
Obr. 60: Výpočet odchylky.....	73
Obr. 61: Ukázka listu hodnoty.	73
Obr. 62: Ukázka části zadání při plném využití.....	74
Obr. 63: Vyčisti list upozornění.	74

1 Úvod

První kapitola se zaměřuje na samotné větrné elektrárny, jejich provoz a princip fungování. Dále je pozornost věnována přírodním podmínkám a perspektivě větrných elektráren v České republice. Další kapitola popisuje podporu výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů elektrické energie. V další části této práce jsou uvedeny zpětné vlivy větrných elektráren na distribuční síť. Poté jsou popsány vlivy větrných elektráren na regulaci výkonu. Následně jsou uvedeny a specifikovány možnosti akumulace energie z větrných elektráren. Dále je věnována pozornost vysvětlení použitého matematického aparátu.

Další kapitola popisuje provedený statistický rozbor rychlosti větru z lokality existující větrné elektrárny. Statistický rozbor zahrnuje data jednoho měsíce z roku 2007 a tří měsíců z roku 2008. Poté je provedena analýza výkonu větrné elektrárny Vestas V90 o instalovaném výkonu 2MW. V této kapitole je vyhodnocení dat, která byla získána z měření na výše zmíněné elektrárně. Analýza výkonu větrné elektrárny zahrnuje data osmi měsíců za rok 2008 a deseti měsíců za rok 2009 a sloužila pro vytvoření aplikací „vyhodnocení“ a „zálohy“.

V další části práce je popsána aplikace pro vyhodnocování naměřených dat - „vyhodnocení“. Tato aplikace vytvořená pomocí makra v MS Excelu 2007 má zjednodušit zdoluhavé vyhodnocování dat. Aplikace je primárně určena pro vyhodnocování elektrického výkonu větrné elektrárny, ale stejně dobře může posloužit pro vyhodnocování elektrického výkonu fotovoltaické elektrárny nebo pro jakýkoliv jiný zdroj elektrické energie. Aplikace nabízí možnost generování výstupních listů pro zadaná časová období s různými možnostmi vyhodnocení podle volby uživatele. Další možností aplikace je vytvoření souhrnného listu se souhrnnými informacemi z již vygenerovaných výstupních listů. Tento list potom podává přehledný obraz o provozu zkoumaného zdroje.

Dále se práce zabývá aplikací pro stanovení odchylky výkonu - „zálohy“. Aplikace pracuje s již dříve získanými daty, která různým způsobem a metodami zpracovává. Využívá se různých průměrných výkonů pro zvolená časová období. Tyto průměry se získávají pro různě stanovená období a také pro období zvolená uživatelem. Výpočty se provádí z naměřených dat nebo z vyhlazených dat. Vyhlazení může být provedeno v různých nastaveních (podle volby uživatele). Pro vyhlazení křivek je použita metoda klouzavých průměrů. Dále aplikace z těchto určených křivek stanoví, jaká by byla skutečná odchylka při uvažování průměrné křivky. Aplikace může být také použita pro jednoduché a přehledné grafické vyhodnocení provozu větrné elektrárny. Stejně dobře může posloužit pro stanovení typových charakteristik zdroje pro zadané období.

V poslední části je uvedeno vyhodnocení provozu větrného parku pomocí napsané aplikace „vyhodnocení“.

2 Cíle disertační práce

V současné době je kladen důraz na využití obnovitelných zdrojů energie, kde jsou nejčastěji využívány zdroje vody, slunce, větru, biomasy a geotermální. Jedním z nejrozšířenějších obnovitelných zdrojů v České republice je větrná a sluneční energie. Z tohoto důvodu se tato disertační práce bude zabývat o problematiku větrné energie.

Prvním krokem je získání a vyhodnocení dat vyplývajících z měření, která probíhala a nadále probíhají, na větrné elektrárně VESTAS V90 o jmenovitém instalovaném výkonu 2MW. V lokalitě, kde se tato elektrárna nachází, je umístěna další větrná elektrárna stejného typu.

Pro toto hodnocení bude vytvořena aplikace, která vyhodnocování dat zjednoduší.

Existují různé dotace a podpory, které se vztahují k obnovitelným zdrojům energie, ale bohužel zde vyvstává společenský problém s náklady, které při jejich využití vznikají. Jedním z největších problémů zapojení větrných elektráren do distribuční (přenosové) sítě je kolísání dodávek elektrické energie vlivem povětrnostních podmínek. Následkem tohoto kolísání může vzniknout nedodaná energie, která je rozdílem mezi instalovaným a skutečným výkonem větrné elektrárny. Jakákoli nejistota vyvolává náklady, tedy i nejistota kolísání. Možnost vzniku nedodané energie má za následek navýšení držených záloh. Následujícím krokem bude stanovení nedodané energie z větrné elektrárny a typových charakteristik větrné elektrárny.

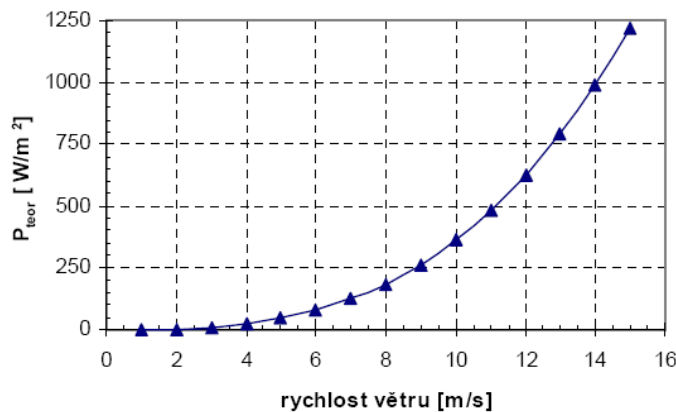
3 Princip větrné elektrárny

Působením aerodynamických sil na listy rotoru převádí větrná turbína umístěná na stožáru energii větru na rotační energii mechanickou. Ta je poté prostřednictvím generátoru zdrojem elektrické energie (na podobném principu turbogenerátoru pracují i jiné druhy elektráren). Podél rotorových listů vznikají aerodynamické síly, listy proto musejí mít speciálně tvarovaný profil (velmi podobný profilu křídel letadla) [2][4][11]. Se vzrůstající rychlostí vzdušného proudu rostou vztahové síly s druhou mocninou rychlosti větru a energie vyprodukovaná generátorem s třetí mocninou. Je proto třeba zajistit efektivní a rychle pracující regulaci výkonu rotoru tak, aby se zabránilo mechanickému a elektrickému přetížení větrné elektrárny. Obsluha větrné elektrárny je automatická.

Výkon, který lze z proudícího vzduchu získat v případě jednotkové plochy, je dán vztahem:

$$P_{\text{teor}} = k_B \cdot v \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2} = 0,59 \cdot \rho \cdot \frac{v^3}{2} \quad (1)$$

k_B - je koeficient vyplývající z Betzova pravidla.

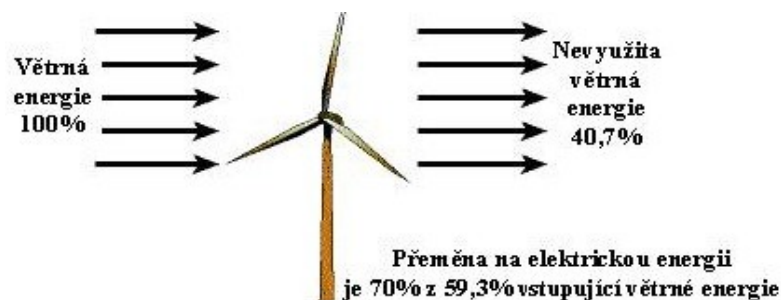


Obr. 1: Závislost teoreticky využitelného výkonu na rychlosti větru.

Pro výkon větrné turbíny s rotorem o průměru D se však nejčastěji používá následujícího vztahu:

$$P = \rho \cdot \frac{v^3}{2} \cdot \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot c_p = 0,125 \cdot \rho \cdot v^3 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot c_p \quad (2)$$

c_p - součinitel výkonnosti, který udává, kolik energie z proudícího vzduchu se využívá na turbíně.

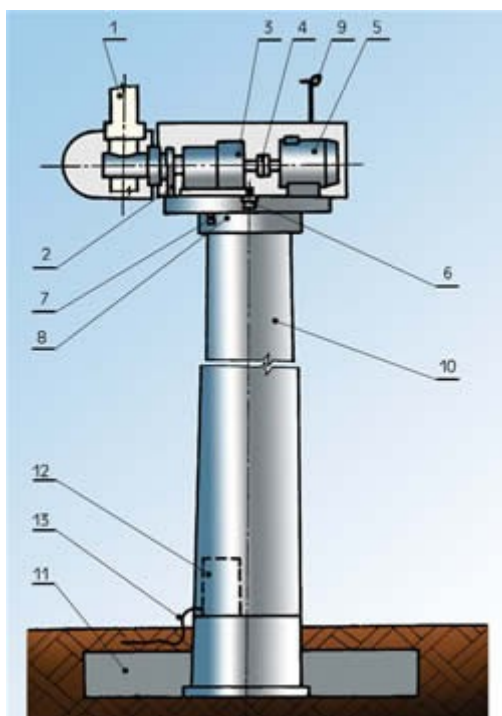


Obr. 2: Větrná elektrárna odnímá kinetickou energii vanoucího větru a převádí ji na energii elektrickou

Maximální teoretická účinnost větrného stroje je tedy 59 %, ale kvůli tření atd. dosahují dnešní elektrárny pouze účinnosti 45 %. Účinnost závisí především na tvaru lopatek.

Pro získání představ, jaký výkon bude větrný motor zvoleného typu dosahovat, je třeba podle tabulek odhadnout velikost jeho výkonového činitele (C_p), kde v ideálním případě je roven 0,59 (podle Betze) [2][4][11].

3.1 Základní části zařízení



Popis:

- 1 - rotor s rotorovou hlavicí;
- 2 - brzda rotoru;
- 3 - planetová převodovka;
- 4 - spojka;
- 5 - generátor;
- 6 - servo-pohon natáčení strojovny;
- 7 - brzda točny strojovny;
- 8 - ložisko točny strojovny;
- 9 - čidla rychlosti a směru větru;
- 10 - několikadílná věž elektrárny;
- 11 - betonový armovaný základ elektrárny;
- 12 - elektrorozvaděče silnoprůdého a řídicího obvodu;
- 13 - elektrická přípojka.

Obr. 3: Schéma zobrazení větrné elektrárny.

3.2 Provoz větrných elektráren

3.2.1 Autonomní systémy

Systémy nezávislé na rozvodné síti (grid-off) slouží objektům, které nemají možnost připojit se k rozvodné síti. Používají se obvykle mikroelektrárny s výkonem od 0,1 do 5 kW. Součástí autonomního systému jsou i akumulátory a řídicí elektronika. V objektu pak může být buď rozvod stejnosměrného proudu s nízkým napětím (12 nebo 24 V), nebo je v systému zapojen ještě střídač pro dodávku střídavého proudu 220 V [11]. Autonomní systémy bývají doplněny fotovoltaickými panely pro léto, kdy je méně větru, ale více slunečního záření. Pro větší výkony se používají větrné elektrárny se synchronními generátory [5].

3.2.2 Systémy připojené k síti

Systémy dodávající energii do rozvodné sítě (grid-on) jsou nejrozšířenější a používají se v oblastech s velkým větrným potenciálem a slouží téměř výhradně pro komerční výrobu elektřiny. Trendem je výstavba stále větších strojů (průměr rotoru 40 až 80 m a věž o výšce více než 80 metrů). Důvodem jsou nižší měrné náklady na výrobu energie a maximální využití lokalit, kterých je omezený počet. Ve vnitrozemí se většinou staví stroje s výkonem 300 až 3 000 kW. Poblíž pobřeží se však staví stroje s výkonem až 5 MW.

Tyto velké elektrárny mají asynchronní generátor, který dodává střídavý proud většinou o napětí 660 V, a tudíž nemohou pracovat jako autonomní zdroje energie.

Moderní větrné elektrárny mají rozběhovou rychlost větru kolem 4 m/s. Pro zvýšení výroby jsou některé elektrárny vybaveny dvěma generátory (nebo jedním s dvojitým vinutím) [11]. Při nízké rychlosti větru pracuje menší generátor, při vyšší rychlosti větru se přepne na větší generátor. Startovací rychlost pro snížený výkon je potom přibližně 2,5 m/s.

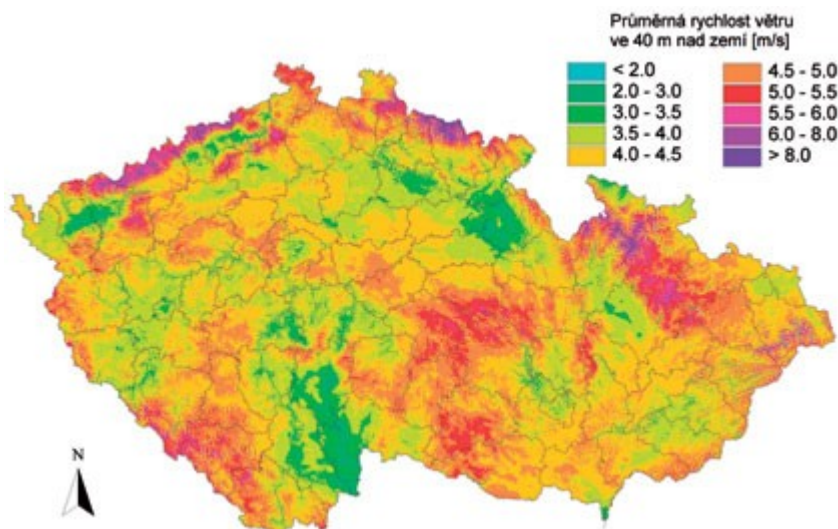
K zefektivnění provozu, snížení nákladů na projektování a výstavbu se velké elektrárny sdružují do skupin (obvykle 5 - 30), tzv. větrných farem [8].

4 Přírodní podmínky

Vítr je proudění vzduchu, které vzniká tlakovými rozdíly mezi různě zahřátými oblastmi vzduchu v zemské atmosféře. Pokud není uvedeno jinak, rozumí se pod pojmem vítr pouze horizontální složka proudění vzduchu.

Proudění vzduchu je vždy turbulentní, což se projevuje kolísáním rychlosti a směru větru. Výsledky měření směru a rychlosti větru jsou proto průměrované za určitý časový interval, tzv. vzorkovací dobu. Měření rychlosti větru se provádí anemometry (mechanickými, elektronickými) [5].

Rychlost větru je nejdůležitějším údajem při využívání energie větru a udává se převážně v m/s [2][3][11]. Poblíž zemského povrchu je proudění vzduchu ovlivňováno drsností povrchu, ale s rostoucí výškou se rychlost větru logaritmicky zvyšuje. Je tedy velký rozdíl mezi rychlostí větru ve výšce 10 m a 100 m nad terénem. Vítr je nad terénem různě zpomalován, zejména terénními překážkami - stavbami, kopci, dále také druhem povrchu (tráva, les, vodní hladina, sníh...).



Obr. 4: Větrný atlas České republiky (zdroj: Ústav fyziky atmosféry AV ČR).

Jsou-li nepřímo získané údaje o rychlosti větru příznivé, je nutné provést měření rychlosti větru přímo v dané lokalitě. Měření by mělo trvat alespoň rok a měřicí přístroj by měl být v ideálním případě umístěn ve výšce osy budoucího rotoru elektrárny (vrtule).

Pro rovný terén, kde závislost mezi rychlostí větru a výškou je ovlivňována jen nerovností povrchu, lze aplikovat vzorec závislosti mezi výškou a rychlostí větru [2][8].:

$$\overline{w_h} = \overline{w_0} \cdot \left(\frac{h}{h_0} \right)^p \quad (3)$$

$\overline{w_h}$ - vypočítaná rychlost větru;

$\overline{w_0}$ - střední rychlost větru ve výšce h_0 ;

h - výška, ve které se provádí měření;

h_0 - výška umístění osy rotoru;

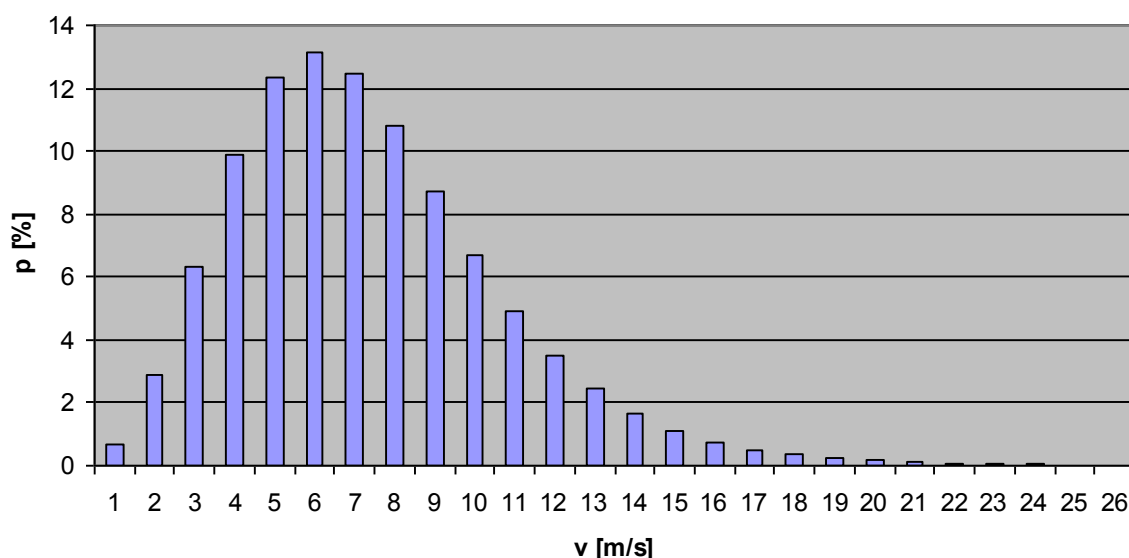
p - vliv atmosférické turbulence nabývá hodnot 0-1.

4.1 Perspektivy větrných elektráren v České republice

Česká republika je typickým vnitrozemským státem s kontinentálním klimatem, projevujícím se sezónním kolísáním rychlosti větru. Možnosti využití větrné energie jsou závislé na rychlosti větru. Celoroční průměrná rychlost větru je cca 4 m/s ve výšce 10 m a cca přes 5,3 m/s ve výšce 30 m. Ale průměrná roční rychlost na horských planinách se pohybuje okolo 6 - 7 m/s. Jako nejpříhodnější lokality pro stavbu větrných farem lze považovat plochy 3 x 3 nebo 4 x 6 km v nadmořských výškách nad 700 m (většinou však leží v chráněných krajinných oblastech, kde je zakázáno stavět). Pro stavbu malých větrných elektráren stačí průměrná roční rychlost 4 - 5 m/s. Tuto podmínku splňuje asi jen 25 % území. Pro stavbu středních elektráren postačují již rychlosti 5 - 6 m/s, tyto podmínky splňuje jen 3,5 % území [11][12]. U velkých větrných elektráren se vyžaduje rychlost větší než 6 m/s a to splňují jen pouhá 2 % našeho území.

Z pohledu síly větru je situace u nás pro větrné elektrárny nepříznivá.

Pro porovnání je zde uvedena studie dle Ústavu fyziky atmosféry AV České republiky. Lze počítat s následujícími průměrnými hodnotami hustoty pravděpodobnosti rychlosti větru pro všechny lokality, na kterých se předpokládají výstavby větrných elektráren [13].



Obr. 5: Hustota pravděpodobnosti rychlosti větru v České republice.

5 Podpora výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie

5.1 Povinnost výkupu elektřiny z obnovitelných zdrojů energie

Provozovatel přenosové soustavy nebo provozovatel distribučních soustav jsou povinni na svém vymezeném území přednostně připojit k přenosové soustavě nebo k distribuční soustavě zařízení za účelem přenosu nebo distribuce elektřiny z obnovitelných zdrojů každého, kdo požádá a pokud splňuje podmínky připojení a dopravy elektřiny stanovené zvláštním právním předpisem. Povinnost připojení zařízení výrobce elektřiny z obnovitelných zdrojů vzniká provozovateli té distribuční soustavy, kde jsou náklady na připojení nejnižší, s výjimkou případu prokazatelného nedostatku kapacity zařízení pro distribuci nebo při ohrožení spolehlivého provozu distribuční soustavy [10].

5.2 Garantovaná minimální výkupní cena elektřiny

Úřad stanoví vždy dopředu na kalendářní rok výkupní ceny za elektřinu z obnovitelných zdrojů samostatně pro jednotlivé druhy obnovitelných zdrojů a zelené bonusy za cílem naplnění podílu výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů na hrubé spotřebě elektřiny ve výši 13% v roce 2020. Minimální garantovaná výkupní cena elektřiny je na dobu 15 let (stanoveno zákonem). Tuto cenu vyhláší Energetický regulační úřad tak, aby byla pro investora návratnost investic do 15 let při splnění technických a ekonomických parametrů. Pro výrobce se bere rok, kdy zahájil dodávku elektrické energie do sítě [10].

5.3 Právo výrobce na úhradu zeleného bonusu

Na rozdíl od výkupní ceny, kdy je kupujícím provozovatel přenosové nebo distribuční soustavy, při uplatnění zeleného bonusu výrobce nabídne svoji elektřinu z obnovitelného zdroje obchodníkovi s elektřinou nebo oprávněnému zákazníkovi za střední cenu energie na trhu. Navíc výrobce obdrží cenu zeleného bonusu, kterou hradí provozovatel přenosové nebo distribuční soustavy. Pro výrobce je tu větší riziko, ale také možnost větších výdělků. Je předpoklad vyšší výsledné ceny při součtu průměrné tržní ceny elektřiny a zeleného bonusu než při ceně výkupní. Je tu ale také riziko, že se výrobcí nepodaří elektřinu na trhu prodat. Hodnota zeleného bonusu není dlouhodobě garantována a je každoročně upravována Energetickým regulačním úřadem.

Přecházet ze systému zelených bonusů do systému výkupních cen a naopak lze jednou ročně. Termíny a podrobnosti výběru způsobu podpory elektřiny z obnovitelných zdrojů stanovuje vyhláška Energetického regulačního úřadu č. 475/2005 Sb., kterou se provádějí některá ustanovení zákona o podpoře využívání obnovitelných zdrojů, v platném znění. Výkupní ceny a zelené bonusy NELZE kombinovat. Tato skutečnost vyplývá z § 4 odst. 3 zákona č. 180/2005 Sb. [10].

6 Zpětné vlivy zdroje na distribuční síť a ovlivnění její spolehlivosti

K zabránění zavlečení zpětného napětí do sítě PDS je zapotřebí zajistit technickými opatřeními, aby připojení vlastní výroby k síti PDS bylo možné pouze tehdy, když jsou všechny fáze sítě pod napětím.

Zpětné vlivy na distribuční síť se u vlastních výroben projevují především jako změny napětí a harmonické [6][9].

Zpětné vlivy na distribuční síť se mohou projevovat následujícím způsobem:

- zhoršením účinníku;
- zvýšením přenosových ztrát;
- ovlivněním zhášení zemních spojení;

Bezprostředně pozorovatelné účinky jsou např.:

- kolísání jasu (flickr) žárovek a zářivek;
- ovlivnění zařízení dálkové signalizace a ovládání zařízení výpočetní techniky, ochranných a měřících zařízení, elektroakustických přístrojů a televizorů;
- kývání momentu u strojů;
- přidavné oteplení kondenzátoru, motoru, filtračních obvodů, hradicích tlumivek, transformátoru;
- vadná činnost přijímačů HDO a elektronického řízení;

Aby nedocházelo k rušení dalších odběratelů a provozovaných zařízení PDS, je nutné omezit zpětné vlivy. Proto se vychází z přípustných mezí zpětných vlivů.

6.1 Změna napětí

$$\Delta u_{vn,110} \leq 2 \% , \quad (4)$$

$$\Delta u_{nn} \leq 3 \% . \quad (5)$$

Podmínka pro maximální připojitelný výkon je pak pro výroby: s přípojným místem v síti vn [6][9]

$$S_{A\max} \leq \frac{2\% \cdot S_{kV}}{|\cos(\psi_{kV} + \varphi)|} = \frac{S_{kV}}{|\cos(\psi_{kV} + \varphi)| \cdot 50} , \quad (6)$$

pro výroby s přípojným místem v síti nn

$$S_{A\max} \leq \frac{3\% \cdot S_{kV}}{|\cos(\psi_{kV} + \varphi)|} = \frac{S_{kV}}{|\cos(\psi_{kV} + \varphi)| \cdot 33} . \quad (7)$$

φ - fázový úhel mezi proudem a napětím výroby při maximálním zdánlivém výkonu $S_{A\max}$

6.2 Flikr

Flikr – subjektivní vjem změny světelného toku.

Dlouhodobý flikr

Pro posouzení jedné nebo více výroben v jednom přípojném bodu je zapotřebí dodržet v přípojném bodě mezní hodnotu [6][9]

$$P_{lt} \leq 0,46 \quad (A_{lt} \leq 0,1) \quad (8)$$

Dlouhodobá míra flikru P_{lt} jednoho zdroje může být určena pomocí činitele flikru c jako

$$P_{lt} = c \cdot \frac{S_{nG}}{S_{kV}} \cdot |\cos(\psi_{kV} + \varphi_i)| \quad (9)$$

S_{nG} - jmenovitý výkon zařízení větrné elektrárny;

- c - činitel flikru zařízení. Charakterizuje spolu s fázovým úhlem i specifické schopnosti příslušného zařízení produkovat flikr. Obě hodnoty udává výrobce zařízení nebo nezávislý institut a mají význam především u větrných elektráren.

Pro výroby s více zařízeními se vypočítá P_{lt} pro každé zařízení zvlášť. Výsledná hodnota pro flikr se potom určí pomocí následujícího vztahu:

$$P_{lt} = \sqrt{\sum_i P_{lti}^2} \quad (10)$$

6.3 Proudý harmonických

Harmonické vznikají především u zařízení se střídači nebo měniči frekvence. Harmonické – sinusové kmity, jejichž kmitočet je celistvým násobkem základní frekvence (50 Hz).

Výroby v síti nn

Za předpokladu, že do sítě nn nemohou být připojeny více než dvě větší vlastní výroby s maximálním výkonem po 10 % jmenovitého výkonu distribučního transformátoru, mohou být pro posouzení proudu vyšších harmonických (I_v) použita následující jednoduchá kritéria:

$$\text{Připustný proud } I_{vnn} = \text{vztažný proud } i_v \cdot \frac{S_{kV}}{\sin \psi_{kV}}, \quad (11)$$

vztažný proud i_v je uveden v PPDS příloha 4 [6],

$$\sin \psi_{kV} = \frac{X_k}{Z_k} \quad (\cong 1, \text{ když je přípojně místo blízko transformátoru vn/nn}).$$

Výrobní v síti vn

Pro pouze jediný přípojný bod v síti vn lze určit celkové v tomto bodě přípustné harmonické proudy ze vztahných proudů i_{vpri} uvedených v PPDS příloha 4 [6] násobením poměru zdánlivého výkonu zařízení S_A k celkovému přípojitelnému nebo plánovanému výkonu S_{AV} v přípojném bodu.

$$I_{vpri} = I_{vpri} \cdot \frac{S_A}{S_{AV}} = i_{vpri} \cdot S_{kv} \cdot \frac{S_A}{S_{AV}} \quad (12)$$

Celkové přípustné harmonické proudy pro síť vn vztažené na zkratový výkon, které jsou vyvolány zařízením přímo připojeným do této sítě, jsou uvedeny v PPDS příloha 4 [6].

Pokud dojde k překročení přípustných harmonických proudů, tak v zásadě připojení není možné. Je nutné provést podrobnější výpočet harmonických [6][9].

6.3.1 Hodnota míry rušení THD

Výrobce často udává hodnotu celkového činitele zkreslení vyššími harmonickými. Aby nedocházelo k nepříznivému ovlivnění sítě, musí být hodnota THD pod úrovní 4 %.

Míru rušení popisuje celkové harmonické zkreslení (THD – total harmonic distortion) - je veličina definující zkreslení sinusového signálu. Je to poměr součtu všech proudů harmonických složek k proudu základní harmonické. Výpočet vychází z rozkladu periodického signálu pomocí fourierovy řady na harmonické složky v amplitudově-fázovém zápisu [6][9].

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \quad (13)$$

6.4 Útlum signálu HDO

HDO (hromadné dálkové ovládání) používá pro přenos informací distribuční síť. Jde o řídicí signál, který ovládá zapínání a odpojování elektrických spotřebičů, včetně přepínání tarifů.

Pro zajištění správné funkce zařízení využívajících signálu HDO nesmí být úroveň signálu menší než 90-80 % požadované hodnoty. Pokud je překročena hodnota povoleného útlumu, je potřeba zavést podpůrnou impedanci a odstranit nepříznivá ovlivnění. Podpůrná impedance mění impedanční poměry ve vybraných částech sítě, hlavně pro zlepšení šíření signálu HDO [6][9].

7 Podpůrné služby k zajištění spolehlivosti energetické sítě

Podpůrné služby používá ČEPS k zajištění systémových služeb. Podpůrné služby jsou poskytovány jednotlivými uživateli přenosové soustavy. ČEPS se stará o správné fungování elektrizační soustavy dle patřičných standardů.

Dělení podpůrných služeb:

- primární regulace frekvence bloku (PR);
- sekundární regulace výkonu bloku (SR);
- terciární regulace výkonu bloku (TR);
- rychle startující 10-ti minutová záloha (QS10);
- rychle startující 15-ti minutová záloha (QS15);
- dispečerská záloha (DZt);
- změna zatížení (ZZ30);
- snížení výkonu (SV30);
- vltava (VSR);
- sekundární regulace U/Q (SRUQ);
- schopnost ostrovního provozu (OP);
- schopnost startu ze tmy (BS);

Regulační energie může být kladná i záporná, značí se znaménkem za zkratkou.

7.1 Vliv větrných elektráren na regulaci výkonu

Klasické zdroje elektrické energie (např. jaderná, uhelná elektrárna) vyrábí po většinu doby provozu elektrickou energii o výkonu, který se blíží instalovanému výkonu konkrétního zdroje. Pokud dojde k poruše nebo plánované odstávce, zdroj nedodává žádnou elektrickou energii. U větrné elektrárny je množství vyrobené elektrické energie závislé na rychlosti větru v dané lokalitě umístěné elektrárny. Pro větrnou elektrárnu je přiblížení se instalovanému výkonu výjimečnou událostí, na rozdíl do klasického zdroje. Skoro po celou dobu výroby elektrické energie z větrné elektrárny produkce kolísá až o desítky procent instalovaného výkonu v řadu několika hodin. Tato stochastická dodávka elektrické energie je dlouhodobě špatně předvídatelná. Značná nepředvídatelnost a výrazná nepravidelnost výroby elektrické energie z větrných elektráren má nepříznivý vliv na provoz elektroenergetické soustavy. Je nutné držet větší zálohy energie. Chod větrných elektráren ovlivňuje zejména tyto tři zálohy [2][9]:

- sekundární regulace výkonu;
- terciární regulace výkonu;
- dispečerská záloha;

Tyto podpůrné služby jsou nejvhodnější pro čerpání záloh pro vyrovnaní stochastického výkonu z větrných elektráren. Větrné elektrárny nemusí zajišťovat primární, sekundární ani terciární regulace. Větrná elektrárna musí být schopna omezení dodávaného výkonu (řízení výkonu) na požadavek PPS. Toto řízení se používá hlavně při poruchách a při stavech, kdy by provoz větrných elektráren výrazně navýšoval pravděpodobnost dalších poruch (výpadků) nebo narušoval spolehlivý provoz elektrizační sítě. Omezení výkonu větrných elektráren musí být technicky zdůvodněno.

7.1.1 Sekundární regulace výkonu

Sekundární regulací je změna výkonu regulovaného elektrárenského bloku tak, jak je požadováno sekundárním regulátorem frekvence a saldy předávaných výkonů. Sekundární regulace dorovnáva rozdíl mezi aktuální spotřebou a výrobou energie. Dále sekundární regulace reaguje na výpadky bloků. Sekundární regulace v propojených soustavách ENTSO-E funguje na principu neintervence (o dorovnání odchylky se stará jen soustava, ve které vznikla odchylka).

Bloky, zapojené do sekundární regulace, obvykle dodávají určitý výkon se schopností změny směrem nahoru a dolů v daném intervalu. Změna výkonu je řízená pomocí automatického regulátoru umístěného na dispečinku PS.

Poskytovatel sekundární regulace výkonu bloku (SR) musí být schopen regulovat výkon směrem nahoru (RZSR(+)) a dolů (RZSR(-)) o stejnou hodnotu. Změna výkonu na požadovanou hodnotu musí být realizována určenou rychlostí nejpozději do 10 minut od požadavku regulátora. Rychlost změny výkonu bloku je minimálně 2 MW/min. Minimální velikost (RRSR) na jeden blok je 20 MW a minimální velikost (RZSR(+)) nebo (RZSR(-)) na jeden blok je 10 MW. Pro maximální poskytovanou velikost RZSR na jeden blok platí, že žádná z uvedených hodnot (RZSR(+)), (RZSR(-)), (RZSR), nepřekročí 70 MW [9].

7.1.2 Terciární regulace výkonu

Terciární (točivá) regulace výkonu bloku spočívá ve změně výkonu bloku na základě požadavku vyslaného na elektrárnu technickým zařízením Dispečinku ČEPS. Terciární regulace se dělí na kladnou a zápornou regulaci. Pro snižování výkonu využíváme zálohu označenou (RZTR-). Pro zvyšování výkonu využíváme zálohu označenou (RZTR+).

Základní požadavky na poskytovanou terciární regulaci:

Poskytovatel terciární regulace výkonu (TR) musí poskytnout celý výkon regulace nejpozději do 30 minut od požadavku. Minimální velikost vykupované (RZTR+ nebo RZTR-) na jeden blok je 10 MW. Minimální rychlost změny výkonu musí být alespoň 2 MW/min. Maximální velikost poskytované (TR) na jednom bloku nesmí být vyšší než 100 MW.

Celková velikost terciární zálohy se skládá z bloků zapojených do terciární regulace a také se podílí rychle startující 30-ti minutové zálohy (většinou plynové a vodní elektrárny). Jsou to sjednané regulace spotřeby a sjednané zahraniční výpomoci (do 30-ti minut) [9].

7.1.3 Dispečerská záloha

Dispečerská záloha slouží k udržení výkonové rovnováhy energetické sítě při nepřesné předpovědi spotřeby. Další využití dispečerské zálohy je v případě dlouhodobějšího nahrazení výkonu bloků, který odpadl při provozu energetické sítě z důvodu plánované odstávky anebo nečekané poruchy. Dispečerskou zálohu (DZt) tvoří bloky elektráren odstavené do zálohy, schopné na žádost provozovatele PS najet na předem sjednaný výkon maximálně do času t ($t = 30, 60, 90, 360$ minut). Dispečerskou zálohou dostupnou v čase (t) je výkon poskytujícího bloku snížený o vlastní spotřebu. Poskytovatel je povinen odstavit blok do zálohy do 30 min. od pokynu Dispečinku ČEPS. Minimální výkon bloku pro (DZt) musí být alespoň 15 MW, s garantováním poskytování zálohy minimálně po dobu 36 hodin [9].

8 Možností akumulace energie pro zlepšení spolehlivosti energetické sítě

Rychlé rozšiřování větrných elektráren vede k otázce, co s proměnlivou výrobou energie z těchto elektráren. Elektrická energie je závislá na třetí mocnině rychlosti větru, který má značně se měnící charakter. To způsobuje největší potíže při řízení elektrizační soustavy.

Jedním z možných způsobů řešení tohoto problému je akumulace elektrické energie. Při akumulaci by byla energie v době, kdy není tolik potřebná, uložena do vhodného systému. A při nedostatku elektrické energie může být použita pro krytí výkonových špiček. Pro akumulaci elektrické energie je celá řada systémů (redox baterie, olověné baterie, přečerpávací elektrárny, palivové články, akumulátory stlačeného vzduchu ...). Řada uvedených akumulátorů je delší dobu již používána a dobře známa. Ale jsou uvedeny i novodobé akumulční systémy, které jsou ve fázi zavádění a jejich dalšího zkoumání.

8.1 Způsoby akumulace energie

Proces umožňující “uskladnění energie”, aby byla připravena pro použití ve vhodný čas v požadované kvantitě i kvalitě. Zařízení pro akumulaci energie se obecně označuje jako akumulátor. V České republice se pojem “akumulátor” používá výhradně pro zařízení s elektrochemickou akumulací elektrické energie. V současnosti se považuje za nejdůležitější pět základních způsobů akumulace energie [4][14][15][16]:

- kvantitativní akumulace;
- tepelná akumulace;
- chemická nebo elektrochemická akumulace;
- mechanická akumulace;
- elektromagnetická akumulace;

Vodíkový systém:

Vodíkový akumulční cyklus se sestává ze tří základních postupů. Elektrolýza vody probíhá v elektrolyzáru, který přeměňuje elektrickou energii na chemickou energii uměle vytvořeného paliva - vodíku. Dalším, relativně samostatným článkem tohoto řetězce, je zařízení pro skladování, popř. transport vodíku. Pro zpětný převod chemické energie vodíku na energii elektrickou pak slouží palivový článek. Stěžejními částmi jsou zejména elektrolyzáru a palivový článek, které ovlivňují výsledné technické i ekonomické parametry vodíkového cyklu. Mezi další součásti systému patří pomocná zařízení, jako jsou kompresory, ventilátory apod.

Olověné akumulátory:

Je to nejrozšířenější sekundární elektrochemický zdroj energie. Vyrábějí se řádově o kapacitách 1 až 10 000 Ah. Olověné akumulátory mají relativně nízké pořizovací náklady, dobře zvládnutou technologii výroby, provozní spolehlivost, dobrou účinnost a dostatečný výkon.

Životnost akumulátorů je závislá na konstrukci elektrod, použitých nabíječů, způsobu provozu a teplotě prostředí. Za konec životnosti se považuje pokles kapacity na 80 % jmenovité hodnoty.

Li-ion akumulátory:

Lithium-Iontová baterie (zkráceně Li-Ion baterie) je druh nabíjecí baterie běžně používané ve spotřební elektronice. Kvůli vysoké hustotě energie vzhledem k objemu se výborně hodí pro přenosná zařízení. V současnosti je to v této oblasti asi nejvíce používaným typem. Chemický princip je velmi podobný jako v Li-Polymer bateriích. První prodejní verzi vyrobila firma Sony v roce 1991.

Anoda je vyrobená z uhlíku, katoda je kovový oxid a elektrolyt je lithiová sůl v organickém rozpouštědle. Uvnitř každé běžně prodávané baterie „packu“ je čip, který hlídá stav a kontroluje průběh nabíjení.

Redox akumulátory - PVB:

Vanadiová redoxová baterie je zařízení schopné hospodárně skladovat a opět uvolňovat i velká množství elektrické energie a svou technologií je vhodné zejména pro stacionární stanice. Systém je založen na patentovaném redukčně-oxidačním reverzibilním článku, ve kterém dochází k přeměně elektrické energie na energii chemickou vázanou v elektrolytu. Využívá se k tomu schopnosti vanadu vyskytovat se ve více valenčních uspořádáních od V_2 do V_4 . Elektrolyty cirkulují ve dvou okruzích oddělených ve vlastním článku iontoměnnou (PEM) membránou. V článku se jedna forma elektrolytu elektrochemicky oxiduje a druhá redukuje působením elektrického proudu přiváděného nebo odváděného elektrodami do vnějšího elektrického obvodu.

Super kondenzátory:

Mají podstatně vyšší kapacitu než klasické kondenzátory. Stejně jako běžný kondenzátor se skládá z vodivých polepů (elektrod) a nevodivé vrstvy (dielektrika), která je odděluje a zabráňuje tak vybití náboje na elektrodách. V tomto případě ale jsou "polepy" tvořeny speciálně upraveným pórovitým uhlíkem, jehož vnitřní povrch má plochu stovky až tisíce čtverečních metrů v jednom gramu. Oproti stovkám mikrofaradů u běžných kondenzátorů zde kapacita dosahuje tisíců faradů, přičemž hustota energie je desetkrát až stokrát vyšší než u olověných akumulátorů. Použité suroviny jsou ekologicky nezávadné a počet nabíjecích cyklů se počítá ve statisících až milionech. Životnost je tedy podstatně delší než vydrží většina zařízení, která mají napájet.

Přečerpávací elektrárny:

Je to speciální typ vodní elektrárny. Slouží k akumulaci elektrické energie pomocí gravitačního potenciálu energie vody. Pomáhá s problémem rozdílné spotřeby elektrické energie během dne. Je hlavně používána pro pokrytí špičkových spotřeb elektrické energie. Jedná se o možnost, kdy lze po delší dobu ve velkém měřítku skladovat vyrobenou elektrickou energii.

Přečerpávací vodní elektrárna má dvě vodní nádrže. Jedna z nich je umístěna na níže položeném místě (spodní nádrž), druhá pak na vyšším místě (horní nádrž). Obě nádrže jsou propojeny spádovým potrubím o velkém průměru. V noci se využívá přebytečná energie v síti, aby se voda přečerpala ze spodní nádrže do horní (elektrárna pracuje jako velký spotřebič). V horní nádrži se tak vytvoří zásoby vody (akumuluje se energie). Potom, když v napájecí síti je potřeba energie (špičková energie), je přečerpávací elektrárna spuštěna. Energie akumulovaná ve vodě se přes turbínu přemění na elektrickou energii.

Uvedené akumulátory mají max. výkon řádově jednotek MW, proto mají spíše lokální použití. Z hlediska celosíťové působnosti připadá v úvahu systém CAES (Compressed Air Energy Storage).

CAES systémy:

Je to moderní plynová turbínová elektrárna, která spotřebuje méně než 40% plynu použitého v konvenčních plynových turbínách k produkci stejného množství výstupní elektrické energie. Na rozdíl od konvenčních plynových turbín spotřebovává 2/3 jejich vstupního paliva ke kompresi vzduchu v době generování. CAES před-komprimuje vzduch s použitím nízkocenné elektřiny z energetické sítě v době mimo špičku a využije tuto energii stlačeného vzduchu později pro generování elektřiny. Zkomprimovaný vzduch je často uskladněn ve vhodných podzemních dolech nebo jeskyních vytvořených uvnitř solných skal.

Zatím existuje ve světě jen pár komerčních CAES jednotek např.: 290 MW Hundorfu (Německo), 110MW - McIntosh (Alabama) a plánovaná 2700 MW Norton (Ohio) – účinnost se bude pohybovat kolem 55% (bez zužitkování tepla vzniklém při kompresi a při pohonu generátoru).

9 Použitý matematický aparát

9.1 Statistika

9.1.1 Statistické charakteristiky

Aritmetický průměr:
$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (14)$$

Modus \hat{x} : Je definován jako nejčtenější varianta proměnné

Dolní kvartil $x_{0,25}$: Rozděluje datový soubor tak, že 25% hodnot je menších než tento kvartil a zbytek, tj. 75% větších (nebo rovných)

Medián $x_{0,5}$: Rozděluje datový soubor tak, že polovina (50%) hodnot je menších než medián a polovina (50%) hodnot větších (nebo rovných)

Horní kvartil $x_{0,75}$: Rozděluje datový soubor tak, že 75% hodnot je menších než tento kvartil a zbytek, tj. 25% větších (nebo rovných)

Interkvartilové rozpětí:
$$IQR = x_{0,75} - x_{0,25} \quad (15)$$

Výběrový rozptyl s^2 :
$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad (16)$$

Výběrová směrodatná odchylka s :
$$s = \sqrt{s^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (17)$$

Výběrová šikmost (skewness):
$$\alpha = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{s^3} \quad (18)$$

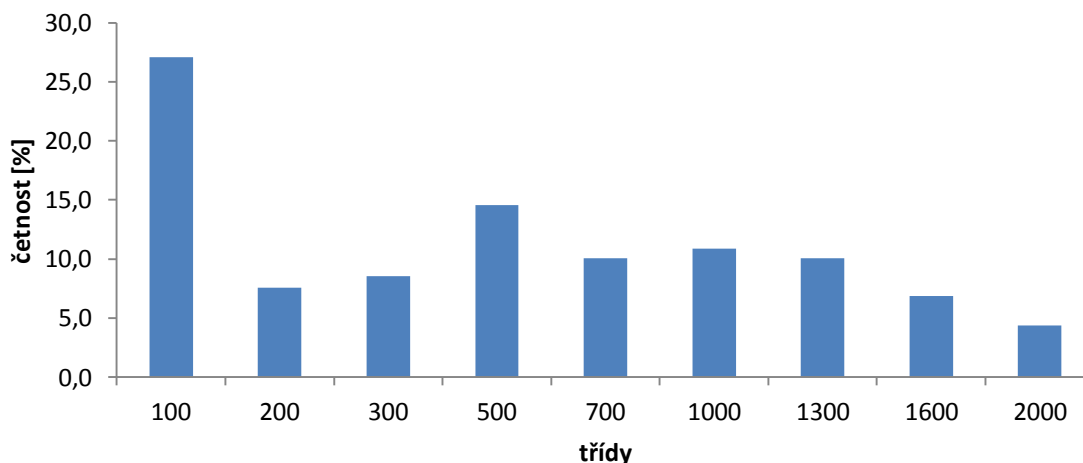
$\alpha = 0$	hodnoty proměnné jsou kolem jejího průměru rozloženy symetricky
$\alpha > 0$	u proměnné převažují hodnoty menší než průměr
$\alpha < 0$	u proměnné převažují hodnoty větší než průměr

Výběrová špičatost (kurtosis):
$$\beta = \frac{n(n+1)}{(n-1)(n-2)(n-3)} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{s^4} - 3 \frac{(n-1)^2}{(n-2)(n-3)} \quad (19)$$

$\beta = 0$	špičatost odpovídá normálnímu rozdělení
$\beta > 0$	špičaté rozdělení proměnné
$\beta < 0$	ploché rozdělení proměnné

9.1.2 Grafické znázornění kvalitativní proměnné

Histogram viz Obr. 6 je graf, kde na jedné ose jsou vyneseny hodnoty proměnných a na druhé ose jejich četnosti. Hodnoty četností jsou většinou zobrazeny pomocí sloupcového obdélníkového grafu. V některých případech se užívá místo obdélníku jiného zobrazení (například kužel, hranol, ...). Četnosti mohou být pro lepší přehlednost přepočítány na procentní tvar [27].



Obr. 6: Histogram s výkonem větrné elektrárny pro měsíc leden.

9.2 Časové řady

Časová řada se bere jako posloupnost hodnot ukazatelů měřených v určitých časových intervalech (tyto intervaly jsou většinou stejně velké - ekvidistantní). Data jsou jednoznačně uspořádána z hlediska času ve směru od minulosti do přítomnosti. Zapsání takovéto časové řady:

$$X_1, X_2, \dots, X_n \text{ neboli } X_t, t = 1, \dots, n,$$

kde X značí analyzovaný ukazatel, t je časová proměnná s celkovým počtem pozorování n .

Analýza časových řad je soubor metod, které slouží k popisu těchto dynamických systémů nebo k případně k předvídání jejich budoucího chování. Analýza časových řad se v současnosti provádí výhradně prostřednictvím počítačů a pomocí vhodného softwaru. Velká většina statistických softwarů má algoritmy těchto analýz zabudované ve svých standardních nabídkách.

Typy časových řad:

Časové řady se člení podle charakteru ukazatele:

- okamžikové – data se vztahují k určitému okamžiku t (měsíční záznamy o počtu nezaměstnaných);
- intervalové - data závisí na délce intervalu, za který je sledován. (měsíční produkce mléka v ČR);

Podle druhu ukazatelů se rozlišují časové řady obsahující:

- absolutní ukazatele (očistěné);
- odvozené ukazatele (součtové, poměrové);

Podle periodicity s jakou jsou údaje v řadách sledovány:

- roční (dlouhodobé);
- krátkodobé;

Základní charakteristiky časových řad:

- absolutní přírůstky;
- průměrný absolutní přírůstek;
- relativní přírůstky;
- koeficienty růstu;
- průměrný koeficient růstu;

Uvedené charakteristiky musí mít stejnou délku časových intervalů v intervalových časových řadách nebo stejné vzdálenosti mezi okamžiky zjišťování v okamžikových časových řadách [19][20][21][22][23].

9.3 Doplnění chybějících hodnot

V časové řadě může některé pozorování chybět a bývá někdy nutné je před zahájením dalších výpočtů doplnit. Doplněné údaje samozřejmě nejsou plnohodnotné a jejich přítomnost snižuje věrohodnost analýzy. Podle účelu transformace lze postupovat některým z následujících přístupů:

- Nahradit chybějící hodnoty nulami. Tento způsob lze doporučit tehdy, nevíme-li o řadě nic anebo jen to, že její průměrný člen by měl být nulový (tak tomu bývá např. u naměřených odchylek od nějaké očekávané hodnoty řízeného procesu).
- Nahradit chybějící hodnoty nějakou centrální charakteristikou souboru naměřených hodnot, konkrétně jeho aritmetickým průměrem nebo mediánem. Lze přitom brát centrální charakteristiku buď celého souboru, nebo pouze okolních bodů.
- Nahradit chybějící hodnotu lineární interpolací mezi sousedními body. Hodí se pro řady, které vykazují výraznou setrvačnost.
- Nahradit chybějící hodnoty trendem v celém souboru, získaném regresí vhodné křivky.
- Nahradit chybějící hodnoty odhadem založeným na známém či odhadnutém modelu chování procesu [20].

9.4 Dekompozice časových řad

Je rozklad časové řady na součet trendu, sezónní, cyklické a náhodné složky. Každá tato složka má podstatně jednodušší interpretaci. Tomuto rozkladu se říká aditivní. Znalost těchto složek nám může umožnit například lepší predikci (odhad do budoucna) [21][23].

- *trend* D_t - dlouhodobý vývoj;
- *sezónní složka* S_t - periodické změny, jejichž perioda je svázána s kalendářem;
- *cyklická složka* C_t - periodické změny, jejichž perioda neodpovídá délce nějaké kalendářní jednotky;
- *náhodná (reziduální) složka* E_t - náhodné fluktuace, které nemají žádný systematický charakter;

$$D_t + S_t + C_t + E_t = X_t \quad (20)$$

X_t – je časová řada

Vyrovnnání neperiodických časových řad

Hlavním úkolem je stanovení trendu. K tomu slouží metody pro vyrovnnávání časových řad. Tyto metody nahradí skutečné hodnoty časových řad teoretickými (vypočtenými) hodnotami. Ty jsou očištěné od náhodného kolísání.

Způsoby vyrovnnávání:

- analytické vyrovnnání pomocí trendových funkcí;
- mechanické vyrovnnání pomocí klouzavých průměrů;
- grafické vyrovnnání;

Hledání trendu

Všechny metody hledání trendu vycházejí z podobné představy. Uvažujme časovou řadu X_t jako součet nějakého trendu a zbytkového (reziduálního) procesu.

$$X_t = D_t + E_t \quad (21)$$

Nejběžnější trendové funkce

Trendovou funkci bereme jako spojitou funkci času. Vyhlazení časové řady řešíme jako regresní úlohu se závisle proměnnou. Touto proměnnou je zkoumaná hodnota a nezávislou proměnnou je časová proměnná [19][21].

- lineární trend $D_t = a + b \cdot t \quad (22)$

- kvadratický trend $D_t = a + b \cdot t + c \cdot t^2 \quad (23)$

- exponenciální trend $D_t = a \cdot b^t \quad (24)$

- modifikovaný exponenciální trend $D_t = \kappa + a \cdot b^t \quad (25)$

- logistický trend $D_t = \frac{\kappa}{1+a \cdot b^t} \quad (26)$

- logaritmický trend $D_t = a + b \cdot \log t \quad (27)$

$t = 1, 2, \dots, n$ - časový interval (například počet let)

Klouzavé průměry

Další metodou hledání trendu je vyhlazení původní časové řady (odstranění šumu vznikající působením náhodných vlivů). Metoda klouzavých průměrů je metoda, kdy se řada původních dat nahradí vypočtenými klouzavými průměry.

Metoda klouzavých průměrů se zakládá na myšlence, že časovou řadu X_t (pro $t=1, 2, \dots, n$) rozdělíme na kratší časové úseky o počtu hodnot $2m+1$ členů původní řady, na kterých odhadují lokální polynomicke trendy určitého stupně. Čím větší je délka klouzavého průměru, tím větší je „vyhlazení“ časové řady. V případě, že zvolená délka klouzavého průměru je „lichá“, jsou získány jejich hodnoty jako obyčejné aritmetické průměry dané délky (prosté klouzavé průměry).

Prosté klouzavé průměry

Úseky časové řady o délce $2m+1$ se vyrovnávají tak, že jsou nahrazeny prostým aritmetickým průměrem:

$$\bar{y}_t = \frac{1}{2m+1} \sum_{i=-m}^m y_{t+i} = \frac{y_{t-m} + y_{t-m+1} + \dots + y_{t+m-1} + y_{t+m}}{2m+1} \quad t = m+1, m+2, \dots, n-m \quad (28)$$

m hodnot na začátku a m hodnot na konci časové řady zůstává nevyrovnáno. Sudá délka klouzavých průměrů se většinou nevolí. Větší vyhlazení časové řady se docílí větší délkou klouzavého průměru.

Centrované klouzavé průměry

$$\bar{y}_t = \frac{1}{4m} (y_{t-m} + 2y_{t-m+1} + \dots + 2y_{t+m-1} + y_{t+m}) \quad t = m+1, m+2, \dots, n-m \quad (29)$$

Metoda klouzavých průměrů má některé nedostatky

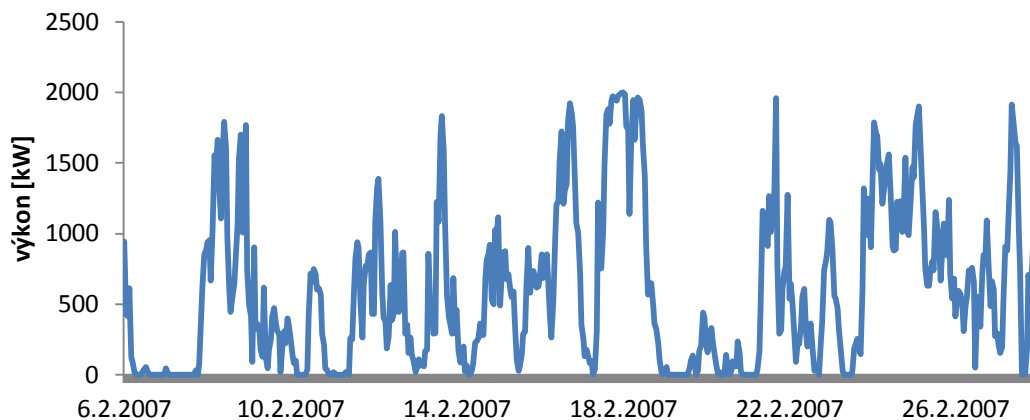
- trend získaný pomocí aplikace klouzavých průměrů je jenom aproximací skutečného trendu;
- klouzavé průměry jsou určeny pomocí aritmetických průměrů a ty jsou značně citlivé na extrémní hodnoty v analyzované časové řadě;
- zvolený počet hodnot zahrnutých do klouzavých průměrů je rozhodnutím toho, kdo analyzuje časovou řadu a podléhá tak jeho subjektivním rozhodnutím;
- pokud bude zahrnut velký počet hodnot do stanovení klouzavého průměru, vznikne tak neúměrně větší nevyrovnanost;

9.5 Grafická analýza časových řad

Jedním z možností prezentace časových řad je jejich grafické zobrazení. Nejčastěji se vynášejí původní hodnoty časové řady nebo kumulativní časové řady, které vzniknou postupným načtením jednotlivých hodnot. Někdy se časové řady zobrazují takovým způsobem, aby více vynikly jejich charakteristické vlastnosti. K tomu účelu zobrazení slouží různé typy grafů [20][22].

Spojnicový graf jedné časové řady

Pro analýzu časových řad se získají první informace ze spojnicového grafu. Jeho princip je v zanesení všech hodnot časové řady do souřadných os. Na horizontální ose je časová proměnná a na vertikální ose jsou hodnoty časové řady. Tyto osy mají příslušné stupnice. Viz Obr. 7.

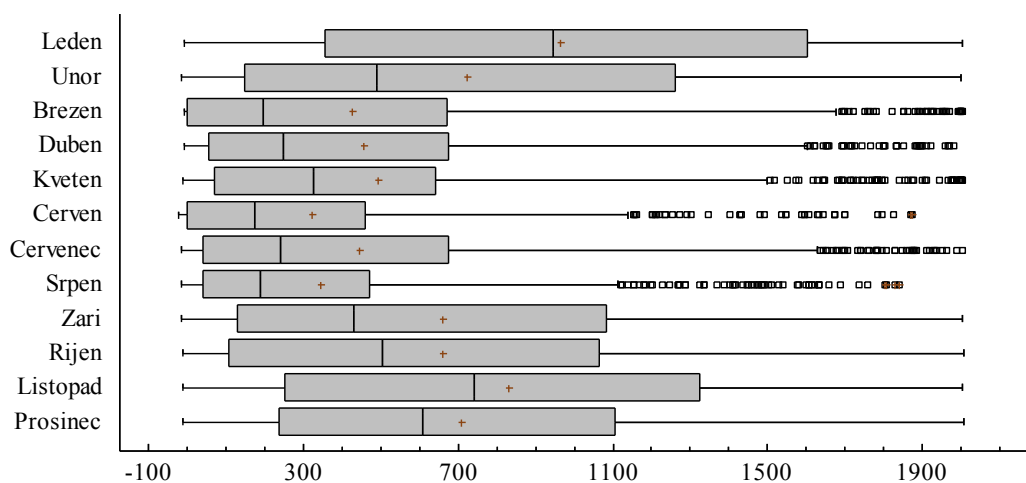


Obr. 7: Spojnicový graf průběhu výkonu větrné elektrárny pro měsíc únor.

Krabicový graf

Někdy je vhodné provést podrobnější pohled na časovou řadu a to umožňuje právě krabicový graf. Ten obsahuje souhrnné charakteristiky zkoumané časové řady. Tím umožní odhalit některé vlastnosti řady, které z jiných grafů nejsou tak dobře zjevné.

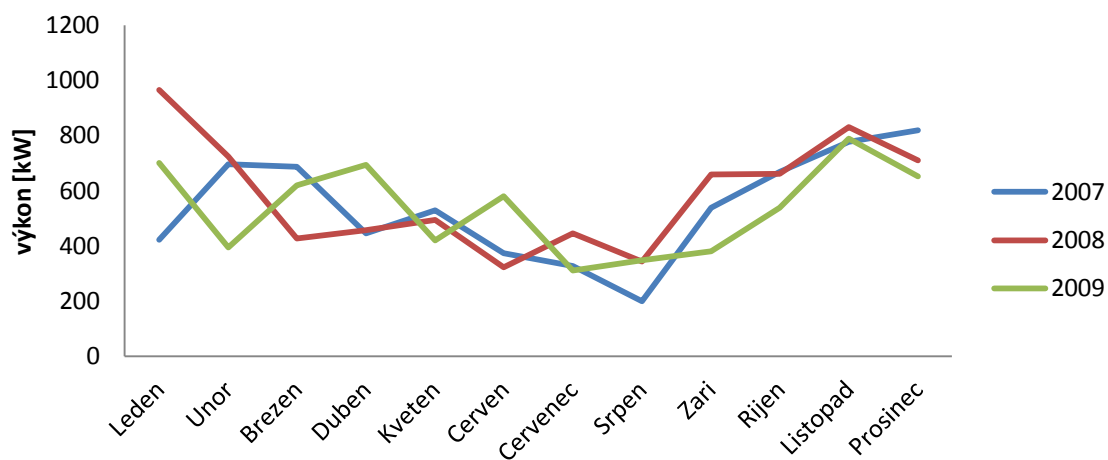
Základ tvoří obdélník. Uvnitř je vyznačen medián a symbolem „+“ (aritmetický průměr). Dolní a horní hrana obdélníku je 25% a 75% kvartil. Konce svislých čar vycházejících z obdélníku zobrazují hodnoty minima a maxima. Délka této svislé čáry je maximálně 1,5x delší než délka obdélníku. Hodnoty přesahující tyto meze jsou brány jako odlehlé. Značí se jako samostatné body. Viz Obr. 8.



Obr. 8: Krabicový graf měsíční časové řady výkonu větrné elektrárny pro rok 2008.

Graf ročních hodnot sezónních časových řad

Graf znázorňuje, jak se v jednotlivých letech odlišuje velikost hodnot ve zkoumaných sezónách za celou časovou řadu. Viz Obr. 9.



Obr. 9: Graf ročních hodnot měsíční časové řady výkonu větrné elektrárny v období 2007-2009.

10 Statistický rozbor rychlosti větru

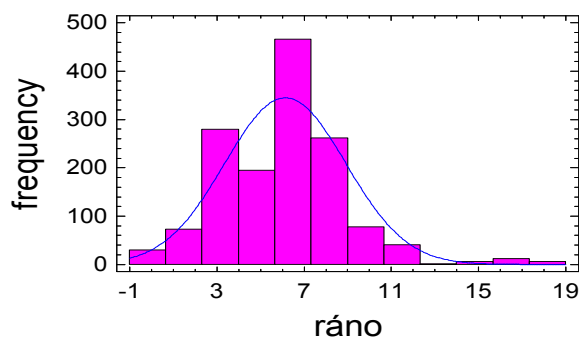
Tento statistický rozbor rychlosti větru měl potvrdit anebo vyvrátit, že se rychlost větru liší v jednotlivých fázích dne.

Pro zvolenou statistickou analýzu byla použita data získaná měřením v lokalitě větrné elektrárny. Tato data popisují rychlosti větru z meteorologické stanice po dobu 4 měsíců. Pro statistické hodnocení byla data rozdělena do tří fází dne: ráno (4-12h), odpoledne (12-20h) a večer (20-4h). Zpracované výstupní údaje podávají přehled o rozdílu rychlosti větru v těchto fázích dne.

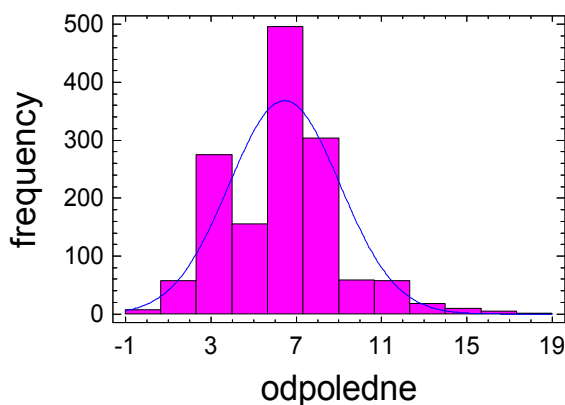
Zdrojem vstupních dat bylo měření na větrné elektrárně za období od 1. 9. 2007 do 1. 10. 2007 a od 1. 1. 2008 do 31. 3. 2008. Celé měření zahrnovalo data o rozsahu 16376 záznamů.

Pro grafickou názornost jsou pro jednotlivé měsíce a jejich fáze dne uvedeny histogramy. Jsou vytvořeny stejně, jako byla provedena statistická analýza, v programu Statgraphics 16. Následně jsou v tabulkách uvedeny výsledky explorační analýzy zpracované programem MS Excel 2003.

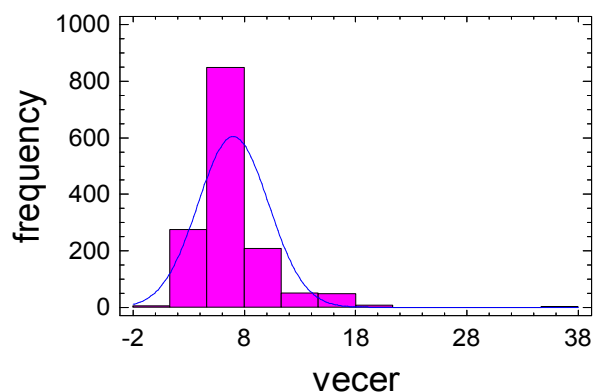
Září 2007



Obr. 10: Histogram pro ráno září 2007.



Obr. 11: Histogram pro odpoledne září 2007.



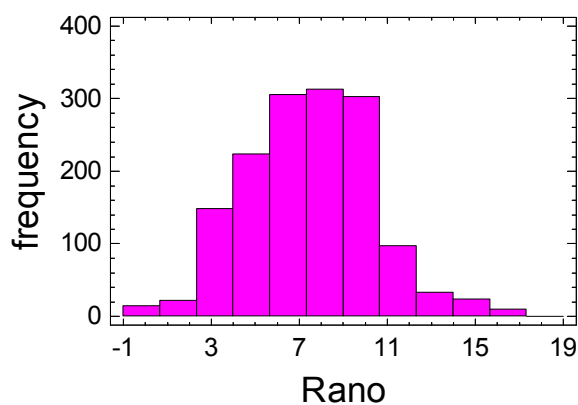
Obr. 12: Histogram pro večer září 2007.

Tab. 1: Popisná charakteristika pro září 2007.

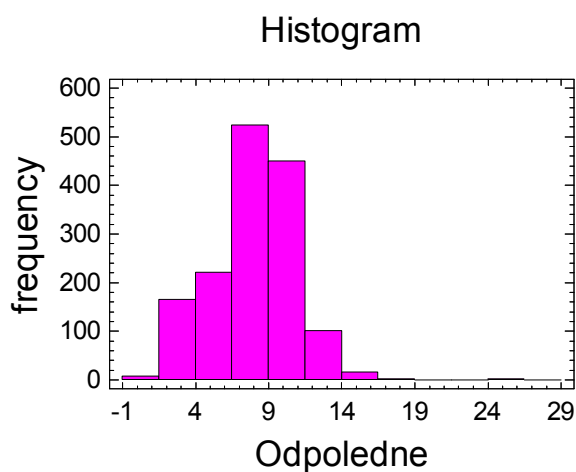
-	Ráno	Odpoledne	Večer
Stř. hodnota	6,138	6,455	7,008
Chyba stř. hodnoty	0,073	0,068	0,084
Medián	6	6	7
Modus	6	7	7
Směr. odchylka	2,776	2,599	3,171
Rozptyl výběru	7,706	6,755	10,057
Špičatost	1,628	1,017	6,720
Šikmost	0,581	0,553	1,611
Rozdíl max-min	18	18	36
Minimum	0	0	0
Maximum	18	18	36
Součet	8839	9295	10092
Počet	1440	1440	1440

Leden 2008

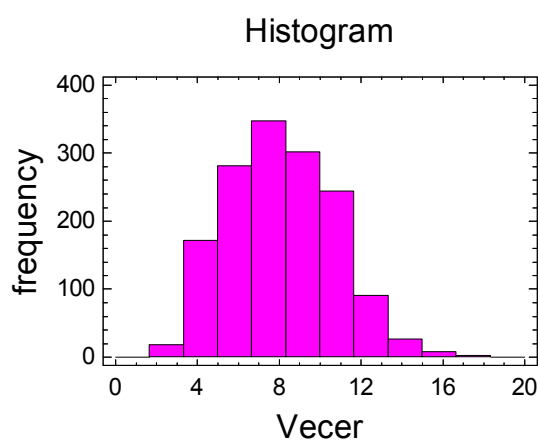
Histogram



Obr. 13: Histogram pro ráno leden 2008.



Obr. 14: Histogram pro odpoledne leden 2008.

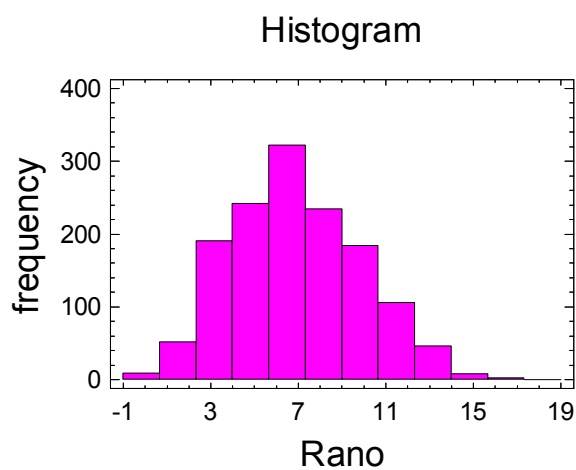


Obr. 15: Histogram pro večer leden 2008.

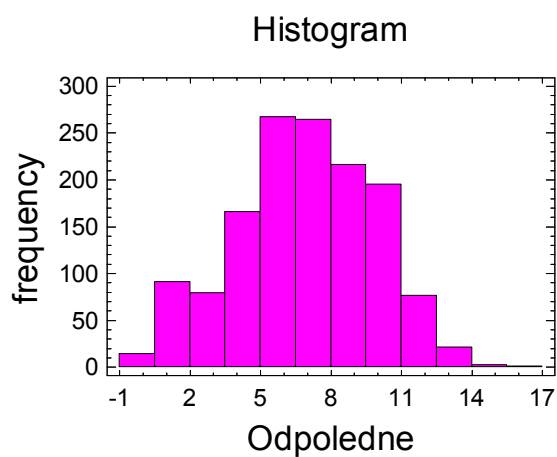
Tab. 2: Popisná charakteristika pro leden 2008.

-	Ráno	Odpoledne	Večer
Stř. hodnota	7,485	8,091	8,114
Chyba stř. hodnoty	0,074	0,073	0,066
Medián	7,5	8,4	7,9
Modus	9,6	8,9	7,1
Směr. Odchylka	2,86	2,806	2,553
Rozptyl výběru	8,177	7,872	6,519
Špičatost	0,091	0,565	-0,238
Šikmost	0,141	-0,156	0,305
Rozdíl max-min	17,1	23,7	16
Minimum	0	1,1	2,3
Maximum	17,1	24,8	18,3
Součet	11138	11999	12065
Počet	1488	1483	1487

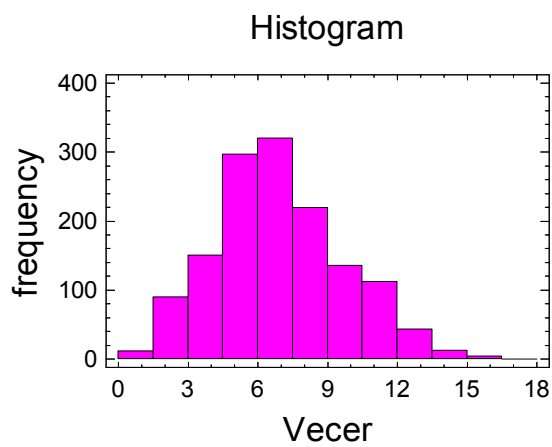
Únor 2008



Obr. 16: Histogram pro ráno únor 2008.



Obr. 17: Histogram pro odpoledne únor 2008.



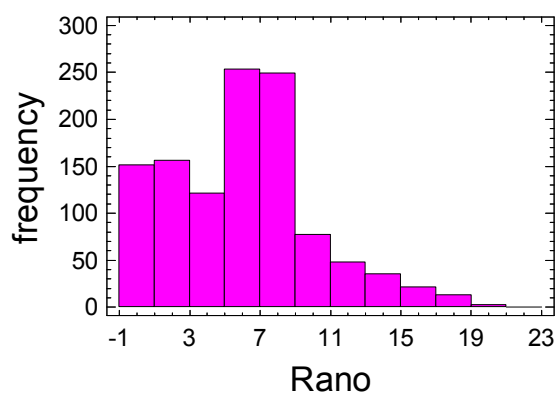
Obr. 18: Histogram pro večer únor 2008.

Tab. 3: Popisná charakteristika pro únor 2008.

-	Ráno	Odpoledne	Večer
Stř. hodnota	6,923	6,95	6,967
Chyba stř. hodnoty	0,079	0,079	0,074
Medián	6,6	6,9	6,6
Modus	6,3	6,6	6
Směr. odchylka	2,948	2,944	2,746
Rozptyl výběru	8,69	8,665	7,541
Špičatost	-0,403	-0,446	-0,175
Šikmost	0,239	-0,163	0,363
Rozdíl max-min	16,3	15,7	15,1
Minimum	0	0	1
Maximum	16,3	15,7	16,1
Součet	9637	9675	9698
Počet	1392	1392	1392

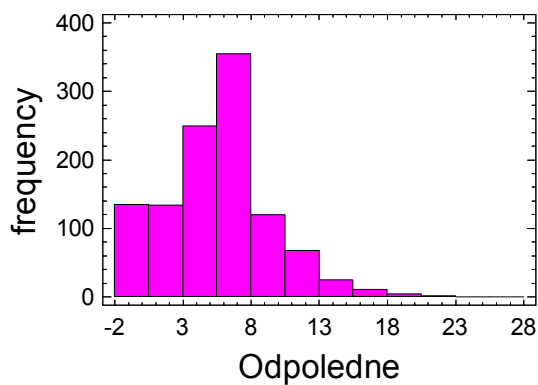
Březen 2008

Histogram

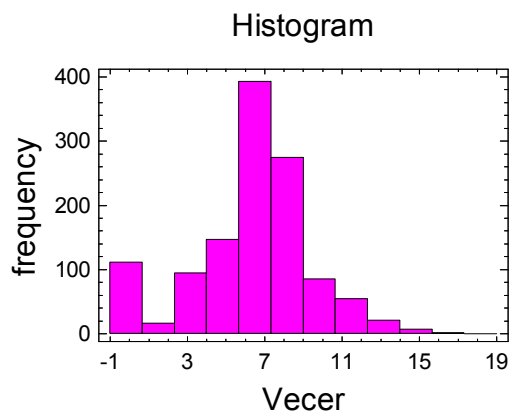


Obr. 19: Histogram pro ráno březen 2008.

Histogram



Obr. 20: Histogram pro odpoledne březen 2008.

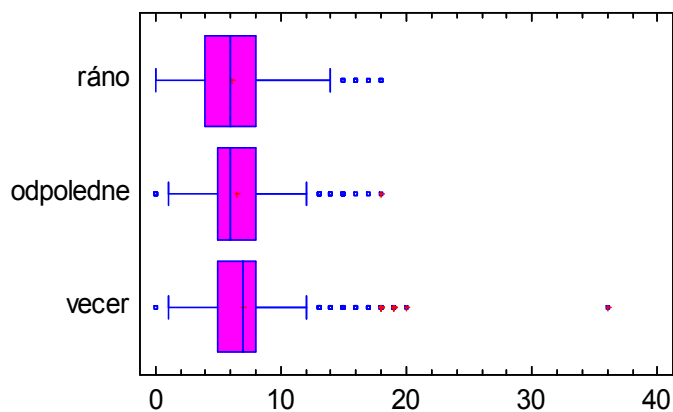


Obr. 21: Histogram pro večer březen 2008.

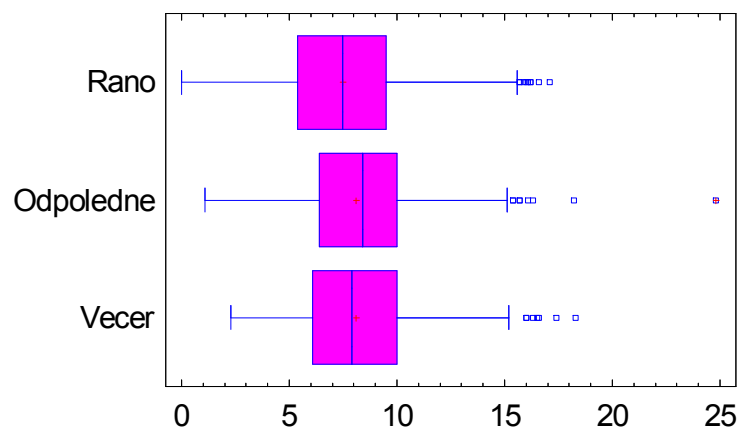
Tab. 4: Popisná charakteristika pro březen 2008.

-	Ráno	Odpoledne	Večer
Stř. hodnota	6,074	5,718	6,391
Chyba stř. hodnoty	0,121	0,111	0,087
Medián	6,4	5,8	6,7
Modus	0	0	0
Směr. odchylka	4,06	3,665	3,015
Rozptyl výběru	16,48	13,44	9,093
Špičatost	0,176	0,697	0,479
Šikmost	0,486	0,531	-0,335
Rozdíl max-min	19,9	22,4	16,5
Minimum	0	0	0
Maximum	19,9	22,4	16,5
Součet	6839	6262	7676
Počet	1126	1095	1201

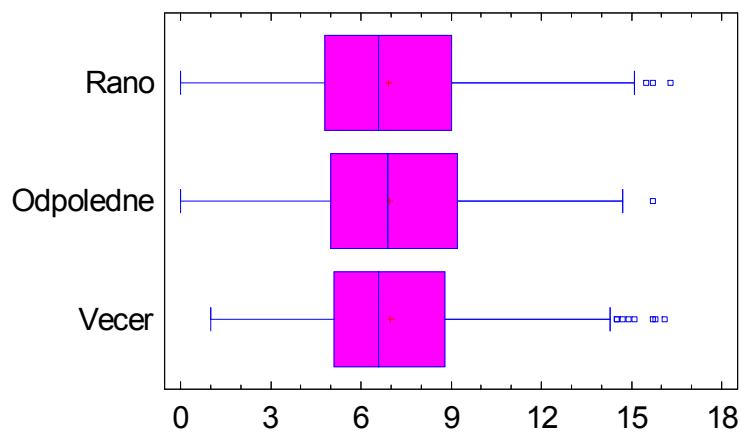
Pro jednotlivé měsíce jsou uvedeny krabicové grafy vytvořené v programu Statgraphics 16.



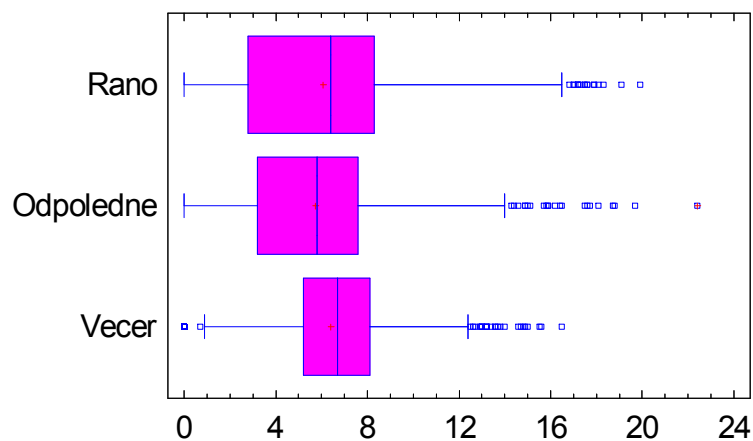
Obr. 22: Krabicový graf pro září 2007.



Obr. 23: Krabicový graf pro Leden 2008.



Obr. 24: Krabicový graf pro Únor 2008.



Obr. 25: Krabicový graf pro Březen 2008.

10.1 Zhodnocení statistického rozboru rychlosti větru

Statistická analýza byla provedena pomocí programu STATGRAPHICS 16 a MS Excel 2003. Data byla vyhodnocována převážně na základě popisných charakteristik, histogramů a krabicových grafů, kde byly nejvíce patrné rozdíly v rychlostech větru pro jednotlivé časové fáze dne.

Pomocí Kruskal–Wallisova testu bylo zjišťováno, zda si střední hodnoty rychlosti větru pro jednotlivé fáze dne jsou rovny nebo se od sebe liší. Dále byla provedena post-hoc analýza pro potvrzení výsledku Kruskal–Wallisova testu. Analýza potvrdila, že si data pro jednotlivé fáze dne mezi sebou nejsou podobná.

V měsíci září 2007 byla největší intenzita větru večer s hodnotou mediánu 7. Za období měsíce ledna 2008 byla největší intenzita větru odpoledne s hodnotou mediánu 8,4. V únoru 2008 byla největší intenzita větru také odpoledne s hodnotou mediánu 6,9. Měsíc březen byl poznamenán častými výpadky měření, proto data nejsou úplná a statistická analýza je tímto ovlivněna. Intenzita větru byla nejsilnější pro večerní hodiny a hodnota mediánu činila 6,7.

Ze statistiky vyplývá, že se nedá jednoznačně říci, ve které fázi dne je síla větru největší. Ranní fáze dne se z hlediska intenzity větru jeví jako nejnižší. Dále je patrné, že časové období čtyř měsíců je krátké pro jednoznačné rozhodnutí, ve které fázi dne je síla větru intenzivnější.

11 Analýza elektrického výkonu větrné elektrárny

11.1 Koeficient využitelnosti

Koeficient využitelnosti, také koeficient ročního využití, patří mezi základní ukazatele efektivity energetického zdroje. Koeficient ukazuje využívání instalovaného výkonu energetického zdroje během roku. Vypočítá se porovnáním skutečného množství vyrobené energie s teoreticky maximální výrobou energií energetického zdroje při celoročním provozu. Většinou se uvádí v procentech.

$$k_r = \frac{W_r}{P_i \cdot h} \quad (30)$$

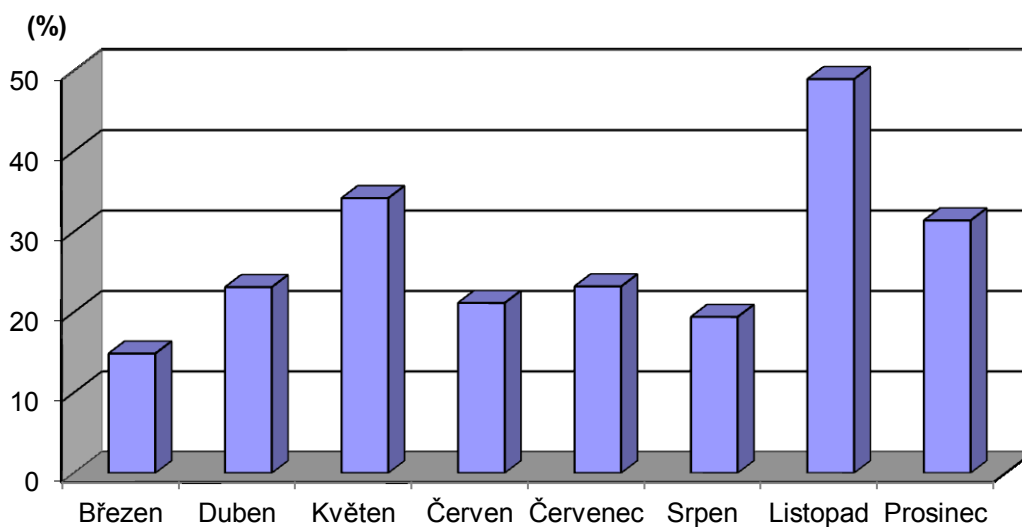
- W_r - vyjadřuje roční množství vyrobené energie (kW/rok);
 P_i - je instalovaný výkon (kW);
 h - je počet hodin (za rok 8760) (h).

11.2 Analýza větrné elektrárny VestasV90

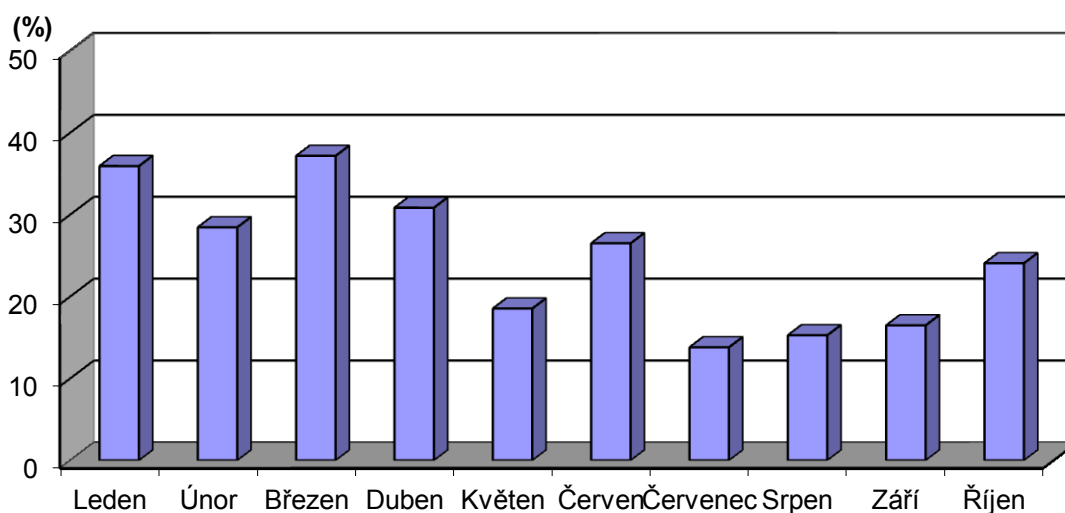
Pro analýzu jsou použita data získaná z měření, která probíhají na větrné elektrárně Vestas V90, o instalovaném výkonu 2MW. V lokalitě, kde se tato elektrárna nachází, je umístěna další větrná elektrárna stejného typu. V této kapitole je naznačen postup vyhodnocování dat, která již byla získána z měření na výše zmíněné elektrárně.

Analýza výkonu větrné elektrárny zahrnuje data za období březen až srpen, listopad a prosinec roku 2008. A za měsíce leden až říjen roku 2009. Celkově se jedná o 8 měsíců za rok 2008 a 10 měsíců za rok 2009. Data byla rozdělena do tří fází dne: ráno (4-12 h), odpoledne (12-20 h) a večer (20-4 h). Zpracované údaje podávají přehled o elektrickém výkonu v těchto fázích dne. Dále je zjištěn pro jednotlivé měsíce koeficient využitelnosti a podíl dodávky větrné elektrárny a její nečinnosti. Jsou zde také určeny oblasti malého, středního a velkého výkonu větrné elektrárny pro duben až říjen roku 2009.

Měsíce březen, červenec, srpen a listopad 2008 nepodávají přesné výsledky. V těchto měsících je provedeno jen krátké měření, a proto nejsou zahrnuty do průměrných výstupů.

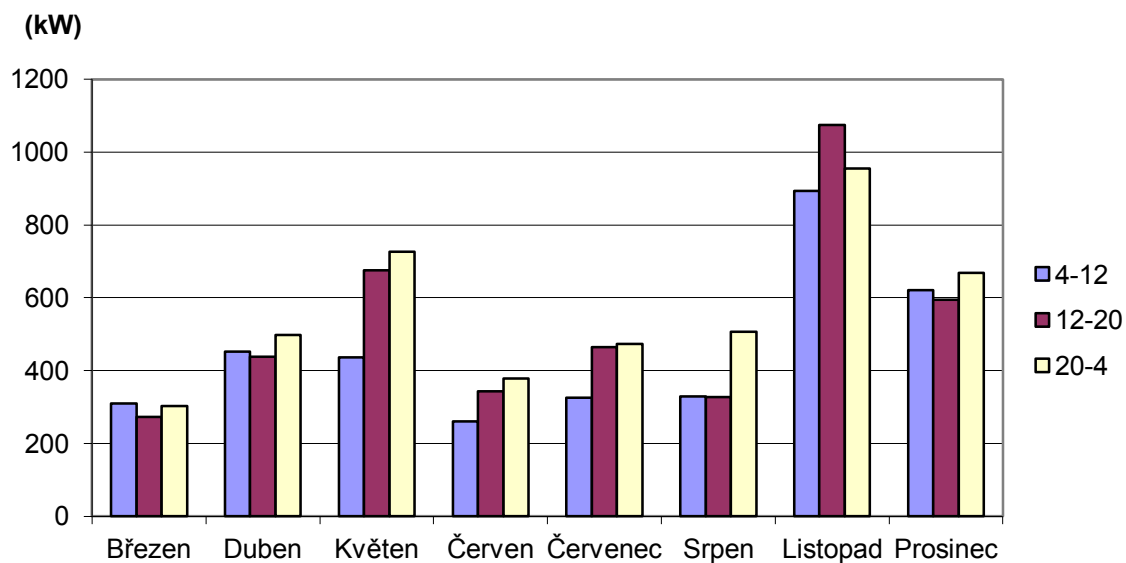


Obr. 26: Koeficient využitelnosti větrné elektrárny pro jednotlivé měsíce v roce 2008.

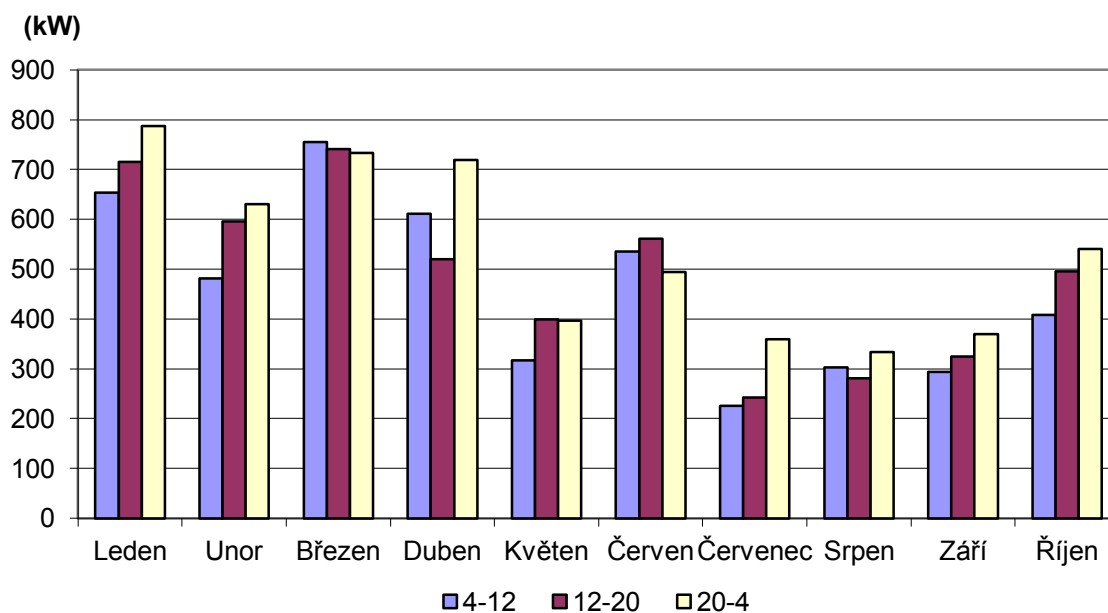


Obr. 27: Koeficient využitelnosti větrné elektrárny pro jednotlivé měsíce v roce 2009.

Na grafech Obr. 26 a Obr. 27 je znázorněn koeficient využitelnosti větrné elektrárny Vestas V90 pro analyzované měsíce. Za zkoumané období je průměrný koeficient využitelnosti cca 26 %. Jen pro měsíc listopad 2008 byl tento koeficient výrazně vyšší a pro měsíc březen 2008 naopak výrazně nižší. V těchto měsících bylo provedeno jen krátké měření. To bylo způsobeno chybou na měřicím zařízení. A proto data těchto měsíců nebyla kompletní.

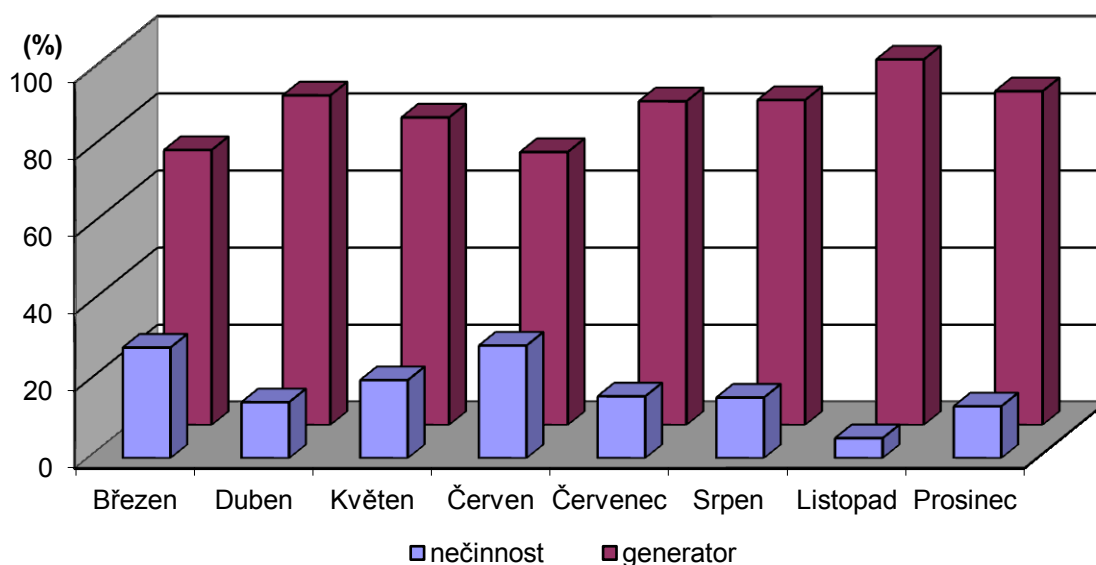


Obr. 28: Průměrný výkon větrné elektrárny pro jednotlivé fáze dne v roce 2008.

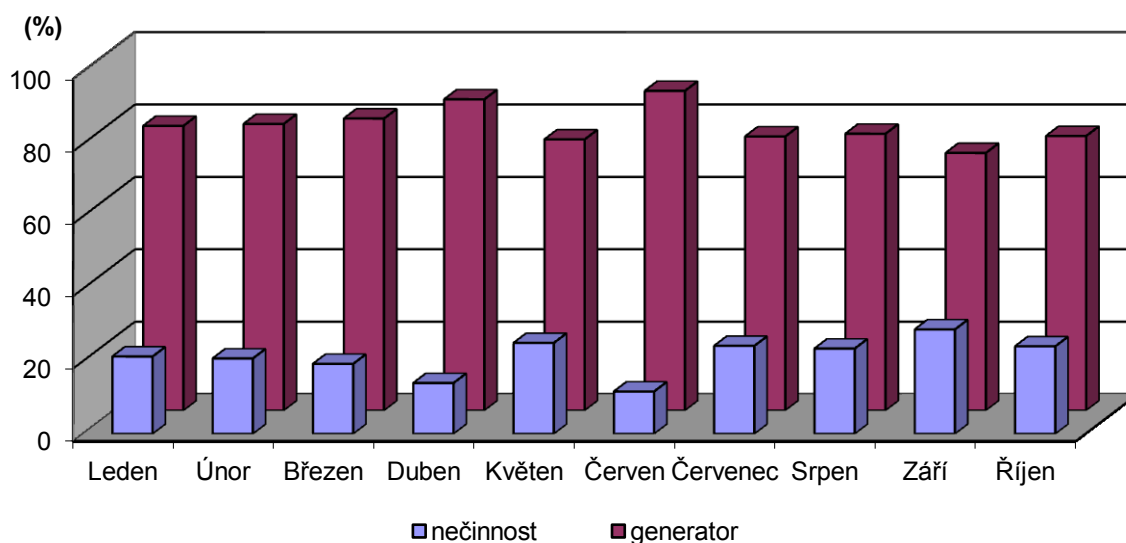


Obr. 29: Průměrný výkon větrné elektrárny pro jednotlivé fáze dne v roce 2009.

Na grafech Obr. 28 a Obr. 29 je znázorněn průměrný výkon elektrárny, který byl rozdělen do jednotlivých fází dne ráno (4-12 h), odpoledne (12-20 h) a večer (20-4 h). Větrná elektrárna pracovala s největšími průměrnými výkony ve večerní fázi dne (20-4 h). Naopak nejmenších průměrných výkonů dosahovala v ranních fázích dne (4-12 h).

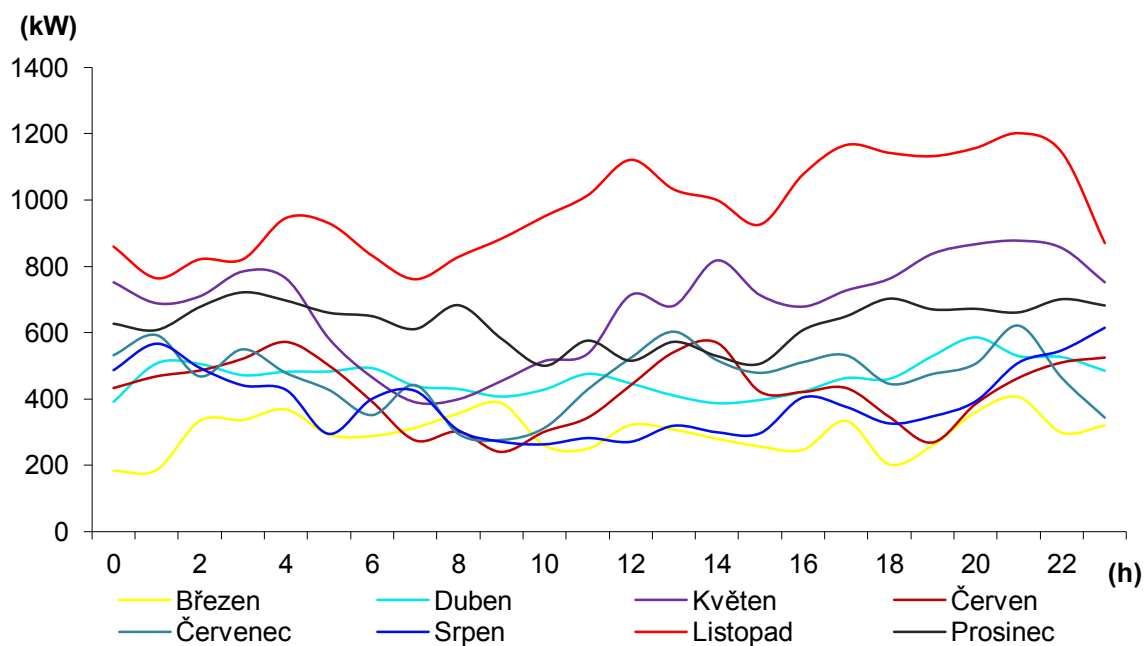


Obr. 30: Podíl generatorického chodu a nečinnosti elektrárny pro jednotlivé měsíce v roce 2008.

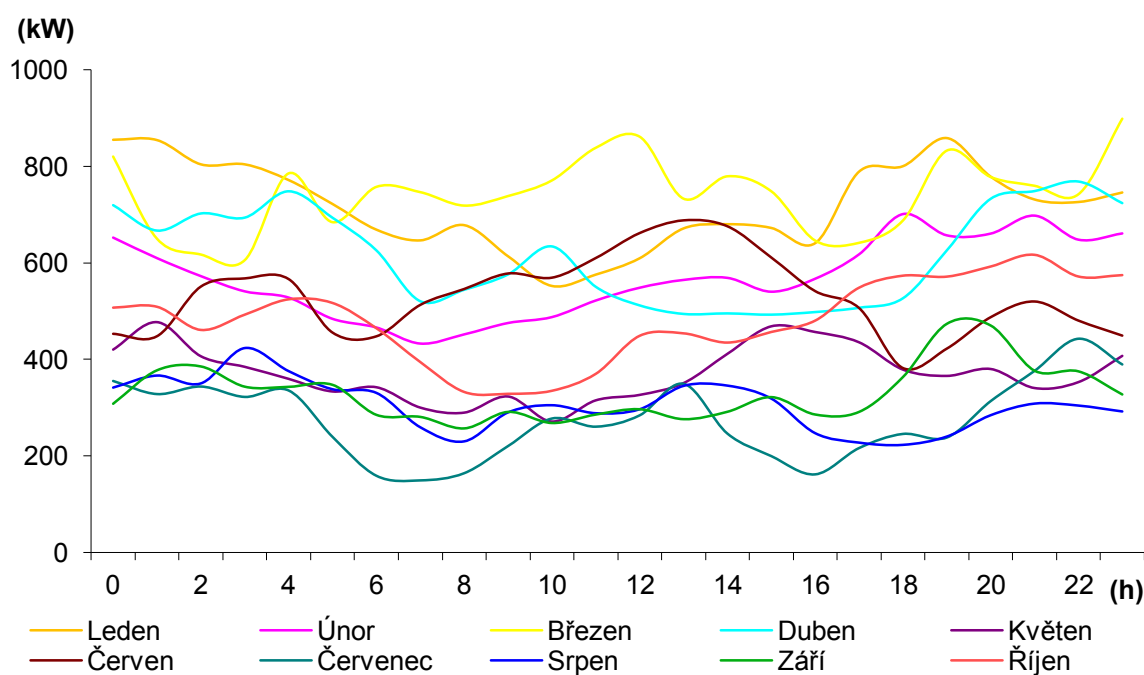


Obr. 31: Podíl generatorického chodu a nečinnosti elektrárny pro jednotlivé měsíce v roce 2009.

Na dalších sloupcových grafech Obr. 30 a Obr. 31 je znázorněn poměr doby provozu a doby nečinnosti větrné elektrárny. Tento poměr je v analyzovaném období roků 2008 a 2009 cca 78:22. Jen v měsíci listopadu 2008 je poměr doby provozu a doby nečinnosti značně rozdílný než je celkový průměr (95:5). V tomto měsíci bylo provedeno jen krátké měření, což bylo způsobeno chybou na měřícím zařízení. A proto data tohoto měsíce nebyla kompletní.

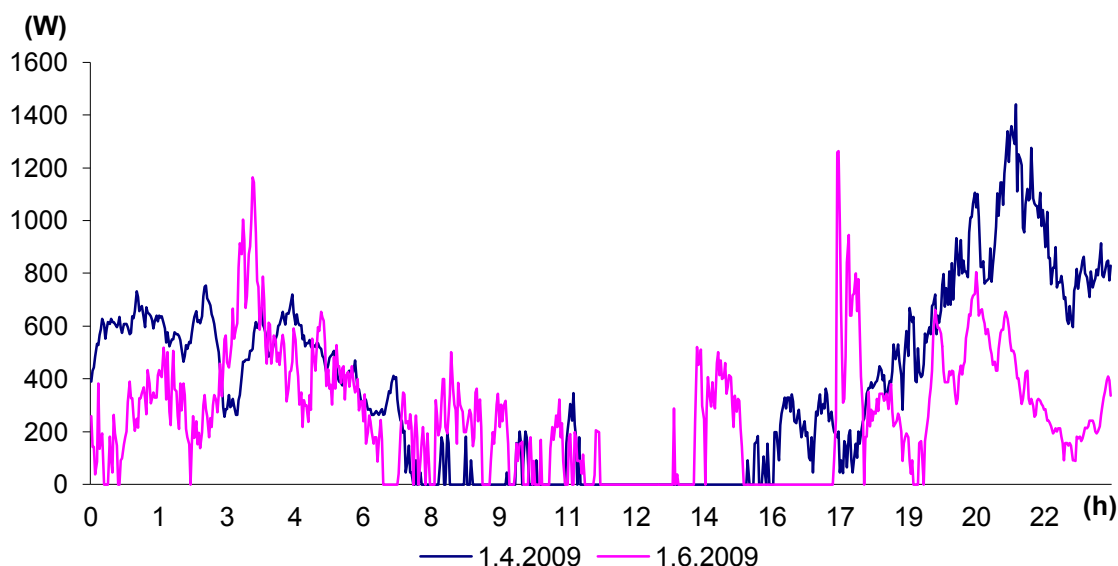


Obr. 32: Průměrný denní výkon větrné elektrárny pro jednotlivé měsíce v roce 2008.



Obr. 33: Průměrný denní výkon větrné elektrárny pro jednotlivé měsíce v roce 2009.

Grafy Obr. 32 a Obr. 33 ukazují průměrné rozložení výkonu větrné elektrárny pro jednotlivé zkoumané měsíce v roce 2008 a 2009 za dobu 24 h.



Obr. 34: Porovnání výkonů větrné elektrárny pro dny 1. 4. a 1. 6. 2009.

Graf Obr. 34 znázorňuje pro dva náhodně zvolené dny značně stochastický průběh výkonu větrné elektrárny za dobu 24h. Nejhorší jsou náhodné výkonové špičky, které jsou na grafu viditelné. Pro zachycení a znázornění těchto špiček, je zapotřebí dostatečně podrobné měření.

11.3 Zhodnocení výkonu větrné elektrárny

Z naměřených a následně vyhodnocených dat je patrné, že větrná elektrárna dosahuje průměrného koeficientu využitelnosti cca 26 %. Jedná o moderní větrnou elektrárnu Vestas V90 o instalovaném výkonu 2 MW. Tohoto instalovaného výkonu elektrárna dosahovala jen výjimečně cca 1 %.

Při porovnání jednotlivých fází dne ráno (4-12 h), odpoledne (12-20 h) a večer (20-4 h) se jeví jako nejlepší fáze dne večer (20-4 h). Naopak nejmenší výkon byl dodáván v ranních fázích dne (4-12 h).

Průměrný procentní rozdíl výkonu mezi jednotlivými fázemi dne je ve zkoumaném období 14 %. Největší procentní rozdíl výkonu byl v červnu 2009 mezi ránem a večerem, a to 38 %. Obdobné hodnoty byly naměřeny v měsíci srpnu 2008. Nejvyrovnanějším měsícem byl březen 2009, kdy průměrný procentní rozdíl výkonu mezi jednotlivými fázemi dne byl 2 %. Průměrný procentní rozdíl výkonu z měsíčních největších odchylek jednotlivých fází dne byl 26 %.

Poměr doby provozu a doby nečinnosti větrné elektrárny je pro analyzované období cca 78:22. Jen ve měsíci listopadu 2008 je tento poměr výrazně menší. V tomto měsíci bylo provedeno jen krátké měření, což bylo způsobeno chybou na měřícím zařízení.

Z naměřených dat byl také výkon větrné elektrárny rozdělen do tří oblastí: malého, středního a velkého výkonu. Pro tuto analýzu byla použita data měsíců duben až říjen roku 2009. Ostatní data neobsahovala potřebné množství dat pro toto rozdělení. Oblast malého výkonu byla stanovena do 300 kW, oblast středního výkonu byla stanovena na 301-700 kW a oblast velkého

výkonu byla stanovena na 701-2000 kW. Dodávka elektrické energie z větrné elektrárny činila v 60 % výkonu v rozmezí 200-950 kW.

Tab. 5: Výkon instalovaný ve větrných elektrárnách zemí EU (2010) [7]

Země	Instalovaný výkon v roce 2010 (MW)	Celkový výkon (MW)	Země	Instalovaný výkon v roce 2010 (MW)	Celkový výkon (MW)
Česká republika	23	215	Německo	1493	27214
Belgie	350	911	Nizozemí	32	2245
Bulharsko	198	375	Polsko	382	1107
Dánsko	364	3798	Portugalsko	363	3898
Estonsko	7	149	Rakousko	16	1011
Finsko	52	197	Rumunsko	448	462
Francie	1086	5660	Řecko	123	1208
Irsko	118	1428	Slovensko	0	3
Itálie	948	5797	Slovinsko	0	0,03
Kypr	82	82	Španělsko	1516	20676
Litva	2	31	Švédsko	604	2163
Lotyšsko	63	154	Velká Británie	962	5204
Lucembursko	7	72	Celkem EU-12	1298	2872
Maďarsko	94	295	Celkem EU-15	8033	81452
Malta	0	0	Celkem EU-27	9332	84324

12 Aplikace vytvořené pro větrné elektrárny

12.1 Co bylo použito pro napsání aplikací

Microsoft Excel 2007:

Excel je tabulkový procesor pro tvorbu tabulek. Dnes je k dostání hlavně jako součást kancelářského balíku Microsoft Office. Jeho hlavním konkurentem je Calc, který je součástí balíku kancelářských aplikací OpenOffice.org.

Umožňuje rychlé a pohodlné tvoření přehledných tabulek z nachystaných dat. Nespornou výhodou Excelu je možnost vypočítání hodnoty v tabulkách. Výpočty lze provádět pomocí ručně zadaných postupů (vzorce) nebo použít některou funkci z rozsáhlé knihovny. Získaná data lze dále reprezentovat například ve formě grafu [26].

Makro:

Pravděpodobně jste již zažili situaci, kdy vás Excel při otevření dokumentů upozorňuje na makra. Z těchto situací můžeme makra vnímat záporně, například jako viry. Člověk by měl vědět, že většina maker je neškodná a naopak mohou nám ušetřit spoustu času.

V informatice je makro definováno jako definice pravidla, jak se bude vstupní posloupnost měnit na výstupní posloupnost (výpočty, akce, ...). Označení této transformace je substituce makra. Makro je řada příkazů automatizující opakující se úlohy. Původní termín byl zaveden překladači jazyka symbolických adres, kde programátor za pomoci makra může vyměnit více příkazů za jediný krátký výraz (makro) [24][25][26].

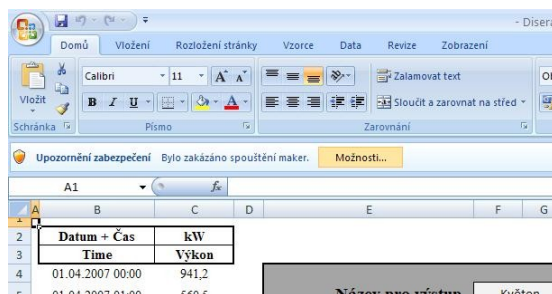
Visual Basic:

Visual Basic (zkratka VB) je programovací jazyk vytvořený společností Microsoft. Ze starého jazyka BASIC byl postupem času odvozen programovací jazyk Visual Basic. Ten má graficky uživatelské rozhraní, přístup k databázím, práci s objekty ActiveX nebo se vzdálenými objekty. Visual Basic umožňuje rychlý vývoj aplikací, jejich tvorbu a správu. VBA a VBScript jsou skriptovací jazyky podobné Visual Basicu. Do nul a jedniček je kompilováno až při spuštění aplikace. Jiné jazyky se kompilují už po vytvoření. Tento postup více chrání vlastnictví zdrojového kódu [24][25][26].

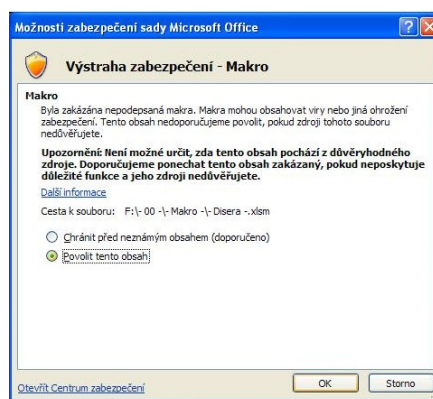
12.2 Povolení Maker v MS Excel 2007

Pro správnou funkci aplikace je nutné, aby uživatel měl povoleno používání maker v MS Excel nebo aby povolil používání maker pro tento soubor. Uživatel má tedy dvě možnosti:

Jednorázové povolení maker pro otevřený soubor:



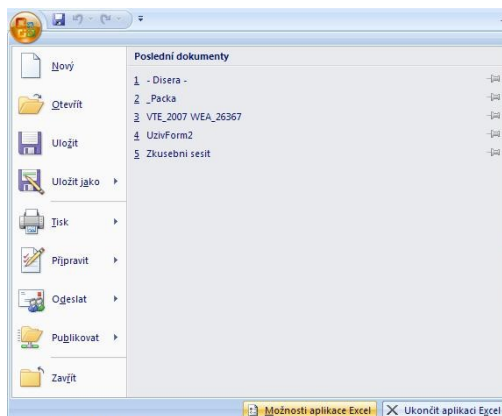
Obr. 35: Jednorázové povolení makra.



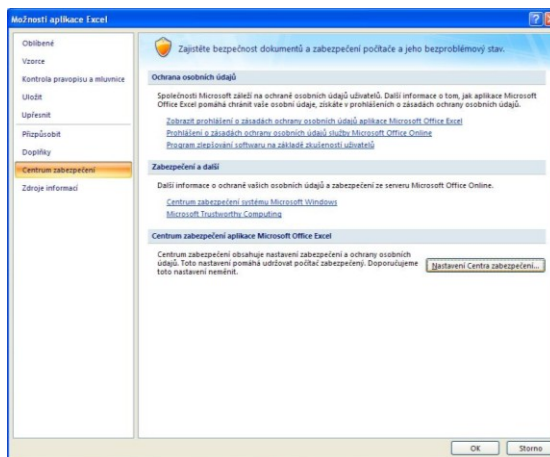
Obr. 36: Povolení obsahu.

První možnost pro uživatele je jednorázově povolit makra pro otevíraný soubor. Po otevření souboru nás bude MS Excel informovat, že se v souboru nachází makra, ale je zakázáno spuštění maker viz Obr. 35. Uživatel klikne na tlačítko Možnosti, viz Obr. 35 (Pozor tato možnost se objeví jen při spuštění souboru). A následně se mu otevře okno Možnosti zabezpečení sady Microsoft Office, zde zaškrtně pole Povolit tento obsah, viz Obr. 36. Potom klikne na tlačítko OK. Nyní má uživatel povoleno používat makra pro tento soubor. Ale při dalším spuštění musí tento postup opakovat.

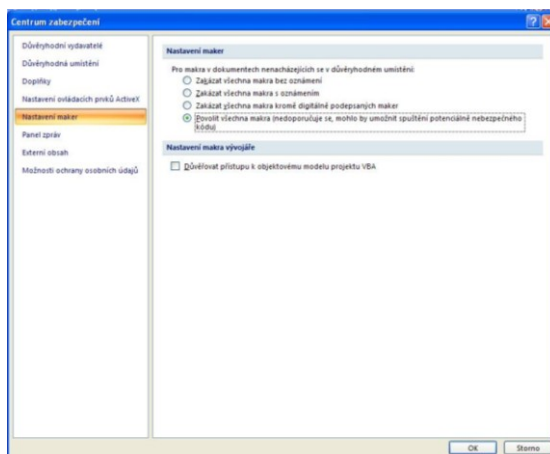
Trvalé povolení maker:



Obr. 37: Možnosti aplikace Excel.



Obr. 38: Centrum zabezpečení.

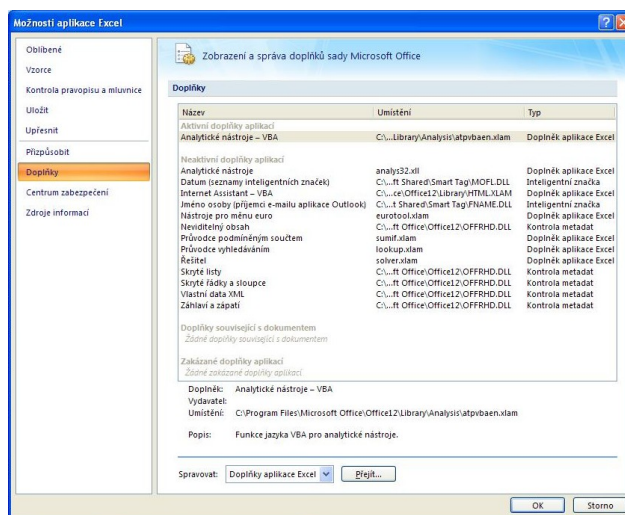


Obr. 39: Povolení maker.

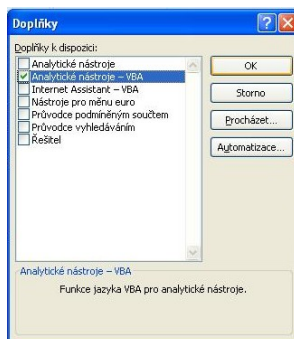
Druhou možností pro uživatele jak povolit makra, je trvalé povolení maker pro MS Excel 2007. Uživatel klikne na Tlačítko Office (levý horní roh) a následně na Možnosti aplikace Excel viz Obr. 37. V aktivním okně Možnosti aplikace Excel v levé liště vybere položku Centrum

zabezpečení a potom klikne na tlačítko Nastavení Centra zabezpečení, viz Obr. 38. Aktivuje se okno Centrum zabezpečení, kde zvolí položku Povolit všechna makra, viz Obr. 39. Svoji volbu uživatel potvrdí tlačítkem OK. Po tomto postupu bude při dalším otevření jakéhokoliv souboru povoleno používání všech maker.

12.3 Doinstalování doplňků do MS Excel 2007



Obr. 40: Instalace doplňku.



Obr. 41: Výběr doplňku.

Pro vygenerování popisné statistiky výkonu pro zadané období napsanou aplikací je nutné, aby byl nainstalovaný doplněk Analytické nástroje – VBA. Jestli je doplněk nainstalovaný zjistí uživatel tak, že klikne na Tlačítko Office (levý horní roh) a následně na Možnosti aplikace Excel viz Obr. 37. V aktivním okně Možnosti aplikace Excel v levé liště vybere doplňky a zkontroluje, zda v aktivních doplňcích aplikací je Analytický nástroj – VBA viz Obr. 40 . Pokud Analytický nástroj – VBA není v aktivních doplňcích aplikací, klikne na tlačítko Přejít. Otevře se okno Doplňky, zde zaškrtně Analytický nástroj – VBA a klikne na tlačítko OK, viz Obr. 41. Po stisknutí tlačítka OK dojde k doinstalování vybraného doplňku do MS Excel.

12.4 Aplikace pro vyhodnocení naměřených dat „vyhodnocení“

Pro zlepšení a zefektivnění výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů je důležitá predikce výkonu. Takováto predikce elektrického výkonu může být na základě přesné lokální předpovědi počasí nebo na základě dlouhodobě měřených dat pro daný zdroj elektrické energie a danou oblast.

Pro druhý uvedený případ je potřeba provádět různá vyhodnocení z měření, která vypovídají o chování tohoto zdroje během delšího časového úseku. Za účelem zjednodušení takovéto práce byla vytvořena aplikace pro vyhodnocování dat pomocí makra v MS Excelu 2007.

Strávili jste někdy spoustu času opakujícími se úkoly v aplikaci Excel a domníváte se, že musí existovat lepší způsob, jak tyto úkoly provést?

Tato aplikace byla vytvořena pro vyhodnocování výkonu větrné elektrárny, ale může stejně dobře posloužit pro vyhodnocování elektrického výkonu fotovoltaické elektrárny nebo pro jakýkoliv jiný zdroj elektrické energie.

Pro správnou funkci aplikace „vyhodnocení“ je nutné, aby byl nainstalovaný doplněk Analytické nástroje – VBA. Informace o aktivaci doplňků viz kapitola 12.3.

Aplikace je vytvořena pomocí makra MS Excel 2007. Při spuštění Excelu se uživateli zobrazí Zadávací list (Obr. 42). Nejprve je zapotřebí vyplnit vstupní údaje v listě Zadání viz Obr. 42. Vysvětlení jednotlivých položek je uvedeno v následujícím textu.

Obr. 42: Pohled na okno MS Excel.

Název pro výstup
 Instalovaný výkon: 2000 kW

Zadáni tříd pro četnosti výkonu

0	100
101	200
201	300
301	500
501	700
701	1000
1001	1300
1301	1600
1601	2000

Meze pro jednotlivé fáze dne

6:00	11:00
12:00	17:00
18:00	23:00
0:00	5:00

Vyberte, co bude generováno

- ☐ Graf průběhu výkonu pro zadané období
- ☒ Graf průměrného denní výkonu pro zadané období
- ☒ Graf podílu provozu a nečinnosti pro zadané období
- ☒ + vyhodnocení poruchy: -100 kW
- ☒ Určení koeficientu využitelnosti pro zadané období
- ☒ Průměrný výkon pro jednotlivé fáze dne zadaného období
- ☒ Popisná statistika výkonu pro zadané období
- ☒ Četnosti výkonu pro zadané období

Řešit zadání

Obr. 43: Vstupní zadávací tabulka pro generování výstupního listu.

Vysvětlení jednotlivých příkazů (viz Obr. 43)

Název pro výstup

Zde uživatel volí název pro výstup, podle kterého se bude jmenovat nový list s vygenerovaným obsahem a všemi grafy v něm obsaženými. Při nezadání tohoto názvu aplikace nedovolí řešit zadání. Při shodnosti názvu s již vygenerovaným listem aplikace neumožní řešení zadání a bude uživatele informovat patřičným upozorněním.

Instalovaný výkon

Tato kolonka je nutná pro výpočet koeficientu využitelnosti. Při nezaškrtnutí možnosti: „určení koeficientu využitelnosti pro zadané období“ není potřeba uvádět tuto hodnotu. V opačném případě by aplikace neumožnila řešit zadání a informovala by uživatele patřičným upozorněním.

Zadáni tříd pro četnost výkonu

Oblast je nutné vyplňovat, jen když je zaškrtnuté políčko: „četností výkonu pro zadané období“. V opačném případě by aplikace neumožnila řešit zadání a informovala by uživatele patřičným upozorněním. První hodnota není záměrně vyplněna, protože uživatel může zadat libovolnou hodnotu, a to i zápornou (např. -100). V prvním řádku tedy musí uživatel vyplnit obě hodnoty. V dalších řádcích vyplňuje uživatel jen pravý sloupec, zbytek je automaticky generován. Není nutné vyplnit celý vymezený prostor pro četnosti výkonu. Ale uživatel musí dodržet vzestupnou hodnotu četností. Pokud by nedodržel vzestupnost dat, hodnota nebude zapsána.

Meze pro jednotlivé fáze dne

Oblast je nutné vyplňovat, jen když je zaškrtnuté políčko: „průměrný výkon pro jednotlivé fáze dne zadaného období“. V opačném případě by aplikace neumožnila řešit zadání a informovala by uživatele patřičným upozorněním. Zde si uživatel volí libovolně dlouhé části dne a vždy musí zadat dva časové údaje. Časový údaj je potřebné zadávat v požadovaném tvaru (např. 8:00), viz poznámka v Excelu. Jinak není zaručena korektnost výsledku. K dispozici má uživatel čtyři řádky, ale stejně jako u četnosti výkonu nemusí využít všech možností.

Vyberte, co bude generováno

To, co bude uživatel chtít vygenerovat, si zvolí ze zadaných možností:

- Graf průběhu výkonu pro zadané období;
- Graf průměrného denního výkonu pro zadané období;
- Graf podílu provozu a nečinnosti pro zadané období;
 - vyhodnocení poruchy (zde je zapotřebí zadat charakteristickou hodnotu výkonu pro poruchu);
- Určení koeficientu využitelnosti pro zadané období;
- Průměrný výkon pro jednotlivé fáze dne zadaného období;
- Popisná statistika výkonu pro zadané období (správná funkce je podmíněna nainstalovaným doplňkem Analytický nástroj – VBA viz kapitola 12.3);
- Četnosti výkonu pro zadané období.

Pro Graf průběhu výkonu pro zadané období je dáno omezení počtu hodnot na 32000 z důvodu limitovaného počtu dat, která jsou možná vynést do grafu. Při větším počtu hodnot nemůže být tento graf vytvořen, ale ostatní funkce nejsou omezeny. Je důležité uživatele upozornit na to, že při velkém objemu hodnot mohou výpočty trvat delší dobu.

Jako další krok v procesu zadávání musí uživatel nakopírovat data v požadovaném tvaru dd.mm.rrrr_hh:mm do vyznačených sloupců, viz Obr. 44. Data nemusí být v hodinových intervalech, jak je na příkladu viz Obr. 44. Mohou být v jiném libovolném časovém intervalu. Ale je důležité, aby uživatel měl ověřenou věrohodnost dat a aby zadávaná data byla kontinuálního charakteru.

Pokud jsou data v některé části přerušena nebo jsou chybně zapsána, musí uživatel tyto data vhodným způsobem doplnit (viz. kapitola 9.3). Jednou z jednodušších možností je například lineární regresí. Také případné chybné zápisy hodnot v datech musí být přepsány (nahrazeny) korektními údaji.

Datum + Čas	kW
Time	Výkon
01.11.2007 00:00	538,3
01.11.2007 01:00	486
01.11.2007 02:00	178,5
01.11.2007 03:00	145,5
01.11.2007 04:00	206,2

Obr. 44: Příklad vstupních dat

Dále jsou zde čtyři tlačítka (Obr. 43):

vymazání tříd četnosti

Toto tlačítko slouží pro smazání oblasti („Zadání tříd četnosti výkonu“) se zadanými hodnotami pro stanovení hodnot četnosti elektrického výkonu větrné elektrárny.

vymazání vstupních dat

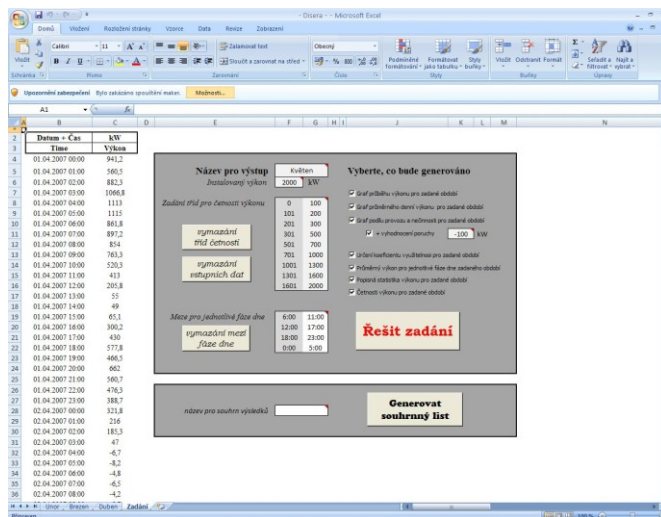
Toto tlačítko slouží pro smazání oblasti obsahující vstupní data nakopírovaná do sloupců (Time, Výkon). Sloupce se nachází v levé části obrazovky.

vymazání fáze dne

Toto tlačítko slouží pro smazání oblasti („Meze pro jednotlivé fáze dne“) se zadanými intervaly fáze dne pro výpočet průměrného elektrického výkonu větrné elektrárny.

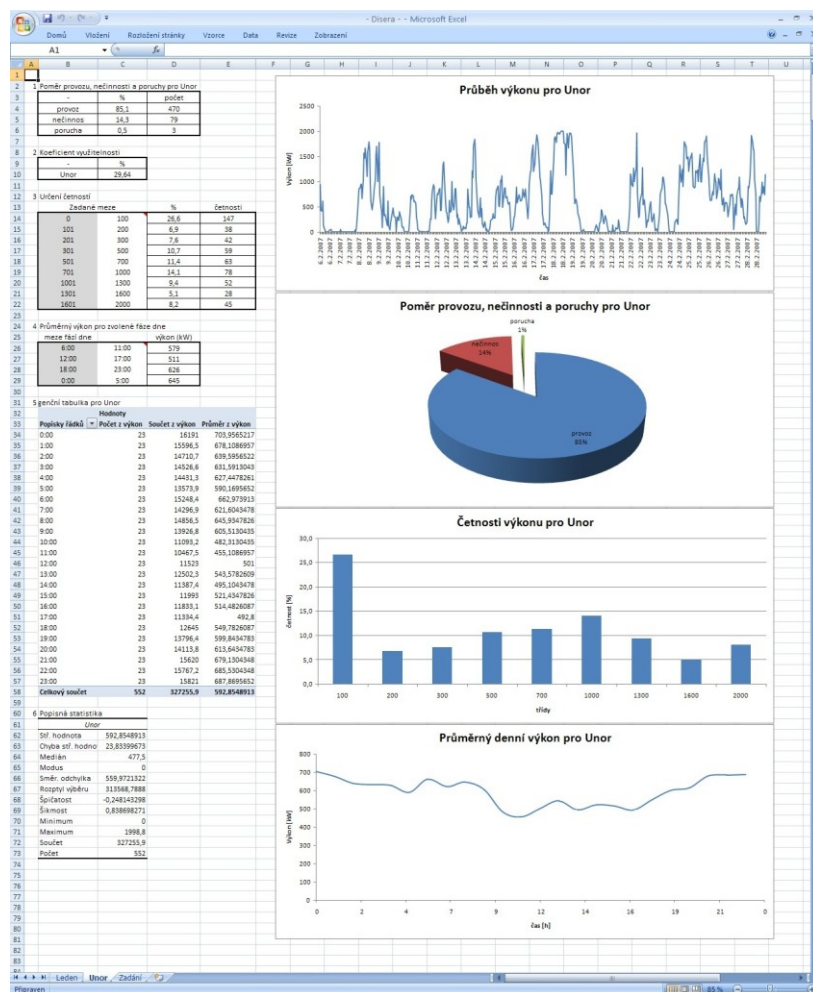
Řešit zadání

Po výběru z možností pro generování, nakopírování vstupních dat a vyplnění patřičných kolonek se pomocí tohoto tlačítka vygeneruje nový výstupní list s vybraným řešením. Pokud budou zvolena řešení k vyhodnocení a nebudou vyplněny požadované vstupní údaje, bude uživatel vyzván k doplnění těchto údajů. Pokud tyto údaje nevyplní anebo nezruší patřičné řešení, nebude vygenerován list s řešením.



Obr. 45: Ukázka vyplněného zadávacího listu

Na obrázku Obr. 45 je názorná ukázka vyplněného zadávacího listu s pohledem na sešit okna MS Excelu 2007. Na tomto vzoru jsou vybrány všechny možnosti zadání řešení.



Obr. 46: Vygenerovaný výstupní list

Na vygenerovaném listě viz Obr. 46 jsou vidět přehledné tabulky, ze kterých jsou vyneseny názorné grafy. Tabulky jsou umístěny v levé části pracovního okna a grafy jsou umístěny vpravo od poslední části tabulek. Tabulky jsou ve vygenerovaném listě řazeny v tomto pořadí:

- poměr provozu, nečinnosti a poruchy pro Unor (v tomto případě byl zvolen název pro výstup Unor);
- koefficient využitelnosti;
- určení četností;
- průměrný výkon pro zvolené fáze dne;
- kontingenční tabulka pro Unor;
- popisná statistika;

Grafy jsou ve vygenerovaném listě řazeny v tomto pořadí:

- průběh výkonu pro Unor;
- poměr provozu nečinnosti a poruchy pro Unor;
- četnosti výkonu pro Unor;
- průměrný denní výkon pro Unor;

Graf Průběh výkonu pro Únor je bez tabulky. Jedná se o vynesena všechna data ze zadání do grafu. Je zde vygenerována tabulka Poměr provozu, nečinnosti a poruchy (zda bude určena porucha, závisí na vyplnění listu „Zadání“). Dále je vygenerována tabulka Koeficient využitelnosti, který je vypočten podle vzorce viz kapitola 11.1. Tabulka Určení četnosti se skládá z části zadané uživatelem v listě „Zadání“ a z části vygenerované aplikací. Jednotlivé četnosti výkonu jsou zobrazeny v grafu. Dále je zde také vygenerována kontingenční tabulka, která slouží pro graf „Průměrný denní výkon pro Únor“. Tento graf znázorňuje průměrný elektrický výkon větrné elektrárny za 24h pro zadané časové období (v tomto případě pro měsíc Únor). Kontingenční tabulka dále slouží jako podklad pro tabulku Průměrný výkon pro zvolené fáze dne. Tato tabulka se skládá z části zadané uživatelem v listě „Zadání“ a z části vygenerované aplikací. Popisná statistika slouží k obecné představě uživatele o datech, jejich hodnotách a rozložení. Pro tabulky Poměr provozu, nečinnosti a poruchy a Koeficient využitelnosti nejsou vygenerovány grafy, protože se jedná pouze o jedno časové období (v tomto případě měsíc). Proto by grafické znázornění nemělo vypovídací charakter. Tyto hodnoty jsou zapsány pouze v tabulkách ve vygenerovaném listě (v tomto případě Únor).

V tomto listě jsou další pomocné výpočty pro jednotlivá vyhodnocení, ale ty jsou úmyslně odsunuty mimo běžně zobrazovanou část listu.

Vygenerovaný list nese všechny potřebné informace a tak může být případně přesunut (nakopírován) do jiného sešitu. Při tomto nakopírování nevznikne propojení s jiným sešitem.

Pokud uživatel při zadávání nezvolí některou z možností pro vyhodnocení, bude tato část ve vygenerovaném listě vynechána. Vzhled vygenerovaného listu tedy záleží na volbě zadání vyhodnocení pro generování výstupního listu uživatelem. Na Obr. 46 je vygenerovaný list „Únor“, kde byly vybrány všechny možnosti pro vyhodnocení nakopírovaných dat.

Vysvětlení jednotlivých příkazů (viz Obr. 47)



Obr. 47: Vstupní zadávací oblast pro generování souhrnného listu.

Název pro souhrn výsledků

Zde si uživatel zvolí název pro generovaný souhrnný list, podle kterého se bude jmenovat nový list s vygenerovaným obsahem. Tuto kolonku je nutné vyplňovat jen tehdy, když uživatel chce generovat souhrnný list. Při nezadání tohoto názvu nebo při shodnosti názvu s již vygenerovaným listem aplikace neumožní generovat souhrnný list a bude uživatele informovat patřičným upozorněním.

Tlačítko generovat souhrnný list

Pomocí tohoto tlačítka uživatel vygeneruje nový list se souhrnnými informacemi z již vygenerovaných výstupních listů.

Při generování souhrnných listů se nekontroluje shodnost zadání tříd četnosti výkonu a shodnost mezí pro jednotlivé fáze dne. Pokud uživatel nedodrží shodnost těchto údajů, nebudou poté data ve vygenerovaném listě věrohodná. Je tedy důležité, aby se uživatel ujistil o shodnosti těchto údajů v jednotlivých listech předtím, než přistoupí k samotnému vygenerování souhrnného listu.

Tyto údaje se záměrně nekontrolují, protože by uživatel musel mít před spuštěním generování souhrnného listu vyplněnou oblast „Zadání tříd četností“ a oblast „Meze pro jednotlivé fáze dne“, podle kterých by se kontrolovala shodnost zadaných a již vygenerovaných údajů. Při nekontrolování těchto hodnot uživatel nemusí mít vyplněné žádné údaje v předchozí části zadávání. Pro úspěšné vygenerování souhrnného listu mu stačí zadat název pro souhrn výsledků.

Při generování souhrnného listu nemusí jednotlivé dříve vygenerované listy pro jednotlivá uživatelem zvolená časová období (například měsíce) obsahovat stejně vybrané možnosti vyhodnocení. Do souhrnného listu se přenesou jen ty údaje, které jsou k dispozici pro jednotlivá časová období. Tento krok nepovede ke znehodnocení dat ve vygenerovaném souhrnném listě. Je tedy na uživateli aby zhodnotil, co od výstupu souhrnného listu očekává a podle toho přistoupil k volbě jednotlivých možností generování.



Obr. 48: Vygenerovaný souhrnný list

Na Obr. 48 je názorná ukázka vygenerovaného souhrnného listu s názvem „pokus“. Tento souhrnný list obsahuje data z časových období „Unor, Brezen, Duben, Kveten“. Pro tato časová období byly v předchozí části vygenerovány výsledky podle zvoleného zadání. V tomto listě jsou tyto jednotlivé výsledky seřazeny do přehledných tabulek. Řazení jednotlivých časových období probíhá podle seřazení listů. Pokud by uživatel chtěl jiné řazení časových období, musel by před přístupem k vygenerování souhrnného listu patřičné listy přemístit tak, aby jejich posloupnost odpovídala uživatelské představě řazení časových období.

Tabulky s hodnotami se nachází v levé části pracovního okna. V souhrnném listě jsou tabulky řazeny od vrchní části v tomto pořadí:

- porovnání podílů provozu, nečinnosti a poruchy;
- porovnání koeficientů využitelnosti;
- porovnání průměrných výkonů pro zvolené fáze dne;
- porovnání četností výkonu;
- porovnání průměrných denních výkonů;
- porovnání statistik;

Pokud by některá část nebyla nalezena v žádné části prohledávaných listů, tak bude tato část vynechána a bude se pokračovat další částí.

Vpravo od posledního údaje v tabulce jsou poté vygenerovány názorné grafy v tomto pořadí:

- porovnání podílů provozu, nečinnosti a poruchy;
- porovnání koeficientů využitelnosti;
- porovnání průměrných výkonů pro zvolené fáze dne;
- porovnání četností výkonu;
- porovnání průměrných denních výkonů;

Vzhled vygenerovaného listu tedy záleží na volbě uživatele. Vzorová ukázka pro všechny možnosti zadání ve všech časových obdobích je na Obr. 48.

12.4.1 Závěr aplikace „vyhodnocení“

Za účelem zjednodušení vyhodnocení měření byla vytvořena aplikace pro vyhodnocování dat pomocí makra v MS Excelu 2007 - „vyhodnocení“. Tato aplikace byla vytvořena pro vyhodnocování dlouhodobých měření výkonu větrných elektráren, ale stejně dobře může posloužit pro vyhodnocování elektrického výkonu fotovoltaických elektráren nebo pro jakýkoliv jiný zdroj elektrické energie.

Aplikace nabízí možnost generování výstupních listů pro zadaná časová období s různými možnostmi vyhodnocení podle volby uživatele. Možnosti vyhodnocení jsou:

- graf průběhu výkonu pro zadané období;
- graf průměrného denního výkonu pro zadané období;
- graf podílu provozu a nečinnosti pro zadané období;
 - vyhodnocení poruchy (zde je zapotřebí zadat charakteristickou hodnotu výkonu pro poruchu);
- určení koeficientu využitelnosti pro zadané období;
- průměrný výkon pro jednotlivé fáze dne zadaného období;
- popisná statistika výkonu pro zadané období;
- četnosti výkonu pro zadané období;

Další možností aplikace je vytvoření souhrnného listu se souhrnnými informacemi z již vygenerovaných výstupních listů. Tento list potom podává přehledný obraz o provozu zkoumaného zdroje.

12.5 Aplikace pro stanovení odchylky výkonu „zálohy“

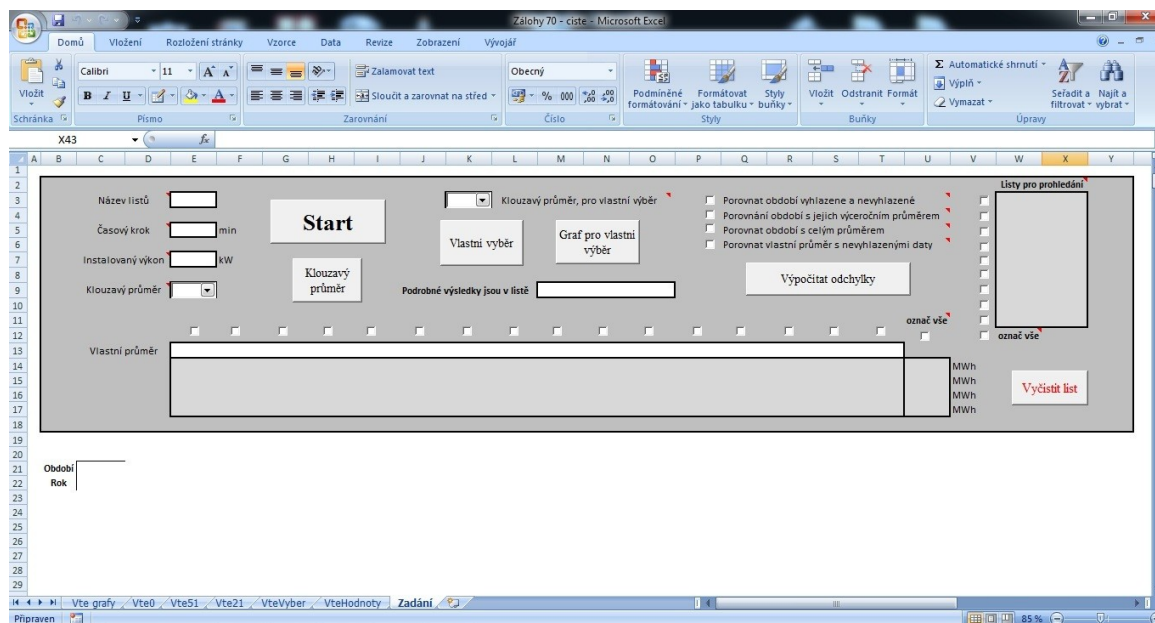
Tato aplikace (Obr. 49) byla vytvořena za účelem pomoci při provozování zdrojů se značně stochastickou dodávkou elektrického výkonu (např. větrné elektrárny). Aplikace pracuje s již dříve získanými daty, která různým způsobem a metodami zpracovává. Pro získání přínosných výsledků je důležité, aby uživatel měl k dispozici dostatečně dlouhé kontinuální měření dat na zdroji nebo zdrojích.

Aplikace je primárně určena pro vyhodnocení provozu větrných elektráren. Vychází z různých průměrných výkonů pro zvolená časová období. Tyto průměry se získávají pro různě stanovená období a také pro období zvolená uživatelem. Výpočty se provádí přímo z naměřených dat nebo z vyhlazených dat. Vyhlazení může být provedeno v různých nastaveních (podle nastavení uživatele). Pro vyhlazení křivek je použita metoda klouzavých průměrů. Dále aplikace z těchto stanovených křivek určí, jaká by byla skutečná odchylka při uvažování průměrné křivky.

Také stejně dobře může aplikace posloužit pro stanovení typových charakteristik zdroje pro zadané období. Jako nejvhodnější se jeví zvolit období v určitých časových periodách (např. měsíce, týdny, ...).

Pro správnou funkci aplikace „zálohy“ je nutné, aby byl nainstalovaný doplněk Analytické nástroje – VBA. Informace o aktivaci doplňků viz kapitola 12.3.

Vlastní popis aplikace zálohy:



Obr. 49: Náhled na pracovní sešit „Zálohy“

Aplikace je vytvořena pomocí makra MS Excel 2007. Při spuštění Excelu se uživateli v pracovním sešitě zobrazí list „Zadání“ (Obr. 49). V tomto listě se nachází dvě základní části. První oblast (pracovní část Obr. 50) s různými funkčními tlačítky a kolonkami pro různé informace o projektu se nachází v horní části. Druhá oblast (oblast hodnot Obr. 51) se nachází pod první a slouží pro vstupní hodnoty projektu.

Pokud chce uživatel začít s vyhodnocením dat, měl by následovat přibližně postup, který je popisován níže. Uvedený postup je informativní a popisuje:

- chronologickou návaznost operací;
- funkci jednotlivých tlačítek;
- správnost zadávání;
- jednotlivé vygenerované informace;
- vygenerované listy (co se v nich nachází a k čemu slouží);

Obr. 50: Pracovní část listu „Zadání“.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
19									
20									
21		Období							
22		Rok							
23									
24									

Obr. 51: Oblast hodnot v listě „Zadání“.

Kopírování dat:

Jako první by měla být uživatelem nakopírována data, která budou vyhodnocena Obr. 52. U vstupních dat je velmi důležité, aby byla zkontrolována jejich posloupnost a aby byly shodné názvy stejných období. Pokud jsou data někde přerušena nebo špatně zapsána, musí uživatel zajistit, aby tyto hodnoty byly opraveny anebo doplněny. To se může provést pomocí aritmetického průměru okolních dat (pokud se jedná o malé množství dat) nebo pomocí lineární regrese, atd. ... viz kapitola 9.3. Všechna data musí být se shodným časovým krokem (na jednom řádku budou data ve stejném čase – hodině, minutě). Je také důležité, aby byla ověřena dostatečná věrohodnost těchto dat. Při nízké věrohodnosti vstupních dat nemůže být zaručena korektnost pozdějších výsledků. Data se kopírují do jednotlivých sloupců.

Od vyznačeného rohu (Obr. 49 nebo Obr. 51) doprava uživatel nakopíruje data, kde v prvním řádku s názvem „Období“ budou nakopírovány údaje s názvy jednotlivých období. Na dalším řádku s označením „Rok“ budou nakopírovány příslušné informace o tom, pro který rok je dané období. Na jednotlivých dalších řádcích budou nakopírovány všechny hodnoty reprezentující výkon zdroje v daném roce a časovém období. Vzorová ukázka nakopírovaných dat je na Obr. 52.

Počet hodnot pro jedno časové období je omezen na 32000 a to z důvodu limitovaného počtu dat, která je možná vynést do grafu. Je důležité uživatele upozornit na to, že při takto velkém objemu hodnot by byly výpočty velmi zdlouhavé.

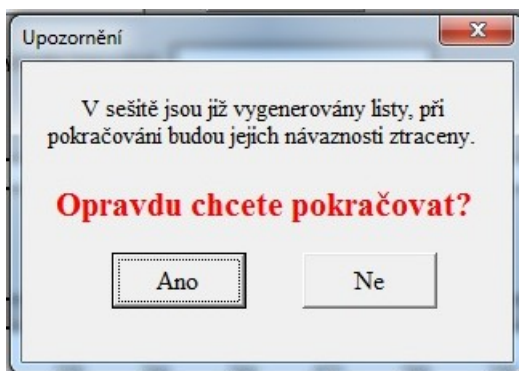
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
19																
20																
21		Období	Brezen	Duben	Kveten	Cerven	Cervenec	Srpen	Zari	Rijen	Listopad	Prosinec	Leden	Unor	Brezen	Duben
22		Rok	2007	2007	2007	2007	2007	2007	2007	2007	2007	2007	2008	2008	2008	2008
23			1157,2	941,2	481,7	410,2	180,8	-1	555,3	-7,2	538,3	730,8	-5,5	1997,8	1122,7	250,7
24			1348,8	560,5	398,2	510	94,7	-1	605,8	-6,3	486	571	-6,7	2000,2	1511,2	455,3
25			1434,8	882,3	631,8	674,7	104,3	-1	127,5	-6,3	178,5	265,2	42,5	2000,3	1573,8	537
26			1760,7	1066,8	747,2	414,8	147,2	-1	172	-6,8	145,5	591	-5	1988,7	1971,3	498,8
27			1533,7	1113	1649,7	239,3	26,5	-1	273,3	-5,8	206,2	721,3	-4	2000	2000,7	688,2
28			1603	1115	1657	182,5	-9,8	-1	262,2	-6,2	140,2	1183,7	-4	2000,3	2000,3	962,5
29			1612,7	861,8	1263,3	240,7	-10,3	-1	135,3	-5,7	93	1433	-4	1951,3	1999,7	1025,5
30			1268,7	897,2	928	188,8	-6,8	-1	99,5	-6	-7,5	1220,7	-4,2	1833,8	1462,8	871,2

Obr. 52: Příklad dat pro vyhodnocení.

Po nakopírování vstupních dat může uživatel přistoupit k dalšímu kroku a to je kliknout na tlačítko „Start“.

Tlačítko „Start“:

Při kliknutí na tlačítko „Start“ Obr. 50 dochází ke smazání případného předchozího zadání (část viz Obr. 50) a všech dalších hodnot potřebných pro provádění jednotlivých operací aplikací. Proto pokud aplikace zaznamená, že v sešitě se již nachází nějaké předchozí výsledky, i jen dílčí, tak uživatele upozorní na tuto okolnost a případně vzniklé následky Obr. 53.



Obr. 53: Upozornění na ztrátu návazností s listy.

Pokud nebude detekováno předchozí řešení, zobrazí se zadávací formulář Obr. 54. A zde se pro uživatele nachází několik položek pro vyplnění:

Název listu:

Zde si uživatel zvolí název. Tento název bude jedna část jména později generovaných nových listů. Při shodnosti názvu s již existujícím listem aplikace nebude akceptovat tento zvolený název.

Časový krok:

Zde je uživatelem zadáno číslo, které udává, jak velký je časový interval mezi jednotlivými vstupními vzorky. Údaj se zadává v minutovém tvaru.

Instalovaný výkon:

Zde je uživatelem zadána hodnota reprezentující hodnotu instalovaného výkonu zdroje nebo zdrojů.

Názvy období:

Do jednotlivých kolonek uživatel vyplňuje názvy časových období, podle kterých budou následně prováděna jednotlivá vyhledávání a srovnávání. Je velmi důležité, aby názvy jednotlivých časových období byly shodné s názvy časových období vstupních dat nakopírovaných před začátkem vyplňování tohoto vstupního formuláře. Rozlišují se diakritické znaky, velká a malá písmena. Uživatel má možnost si zvolit až 16 druhů názvů období.

Při neshodě názvu období se vstupními daty nebude moci být vytvořen požadovaný výstup. Tento stav uživatel pozná, když ve výsledcích nenajde patřičná období anebo při neshodě všech názvů období bude vygenerován prázdný list s informací o neúspěchu.

Obr. 54: Zadávací formulář „Základní údaje“.

Po vyplnění těchto důležitých vstupních údajů pro vyhodnocování uživatel klikne na tlačítko „Vyplnit“. Nyní se data přenesla do listu „Zadání“ Obr. 55 a Obr. 58. Tyto data by neměl nikdo svévolně přepisovat. Pokud se tak stane, nemůže být zaručena korektnost později získaných dat. Tyto data slouží pro pozdější odvolávání se aplikace.

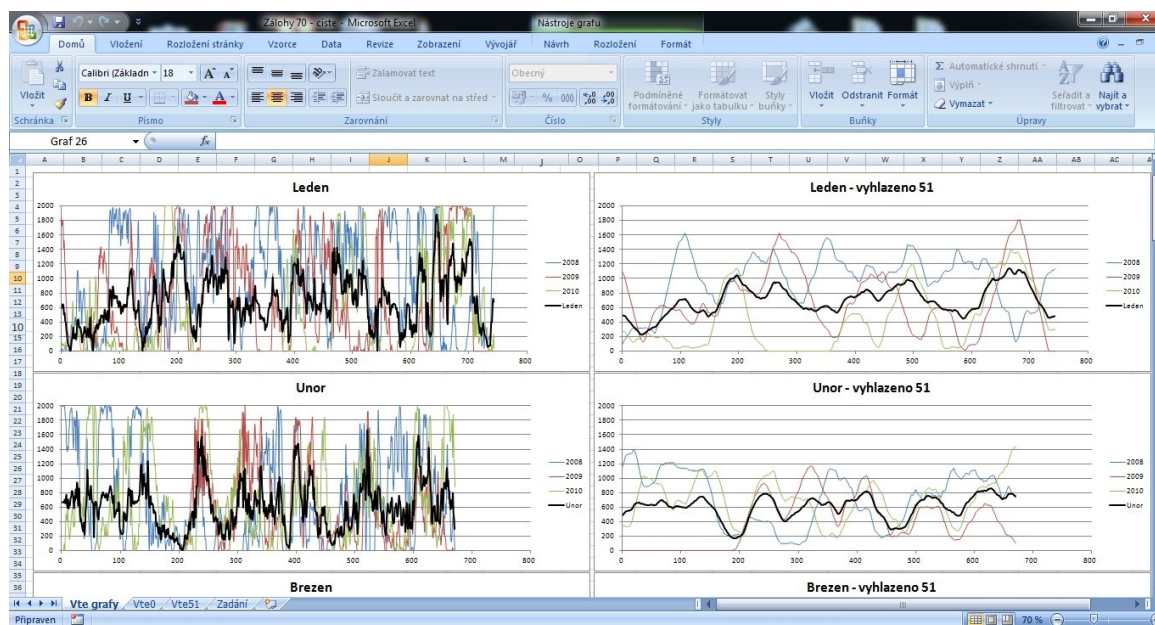
Obr. 55: Start a vstupní údaje.

Po stisknutí tlačítka „Vyplnit“ byly dále vygenerovány listy „Vte0“, „Vte51“ a „Vte grafy“ (název „Vte“ je pouze ukázkový, byl zvolen pro názornost tohoto vzorového popisu). Listy „Vte0“ a „Vte grafy“ jsou velmi důležité pro další vyhodnocování. Aplikace se při dalších krocích často odvolává do těchto listů.

List „Vte0“ obsahuje vstupní hodnoty, jejich jednotlivé průměry pro zadaná období a celkový průměr. Tyto data jsou také vynesena do patřičných grafů v listě „Vte grafy“.

List „Vte51“ obsahuje vyhlazenou křivku klouzavého průměru o velikosti 51 hodnot ze vstupních dat. Dále jsou zde jednotlivé průměry pro zadaná období z hodnot klouzavých průměrů a celkový průměr. Tyto data jsou také vynesena do patřičných grafů v listě „Vte grafy“.

List „Vte grafy“ Obr. 56 obsahuje již uvedené grafy z hodnot v listech „Vte0“ a „Vte51“. Tyto grafy jsou vždy pro jeden list řazeny pod sebou. Následující grafy vygenerované pro další list jsou umístěny v novém sloupci vpravo od již vygenerovaných grafů. Každý graf obsahuje jedno zvolené časové období pro všechny nalezené roky a jejich celkový průměr, který je úmyslně zakreslen výrazněji. Posledním grafem ve sloupci je vždy graf s celkovým průměrem všech období a let. Tento graf má navíc vynesenu lineární regresi přímkou a její rovnici. Všechny mají pro lepší vizuální zhodnocení stejné měřítko na časové ose a výkonové ose.



Obr. 56: Názorná ukázka list „Vte grafy“.

Nyní byla objasněna základní část vyhodnocení a následuje popis dalších kroků a vlastností aplikace.

Tlačítko „Klouzavý průměr“:

Aby mohl uživatel použít tlačítko klouzavý průměr, musí nejprve zvolit, jakou hodnotu klouzavého průměru chce vygenerovat. Tuto hodnotu si zvolí z možností v nabídce „Klouzavý průměr“ Obr. 55 (Je vhodné si uvědomit, že klouzavý průměr o velikosti 51 hodnot byl již vygenerován při kliknutí na tlačítko „Start“). Po kliknutí na toto tlačítko se vytvoří nový list s příslušným názvem pro klouzavý průměr, v tomto případě „Vte21“. Dále se z nově vygenerovaných dat vytvoří nový sloupec s grafy v již existujícím listě „Vte grafy“.

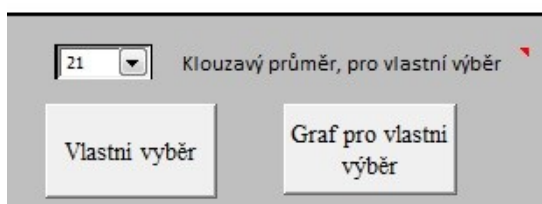
Tento postup může uživatel opakovat do vyčerpání možností klouzavých průměrů v dané nabídce.

Dá se říci, že klouzavý průměr je vyhlazení vstupních hodnot. Čím větší hodnotu klouzavého průměru uživatel zvolí, tím bude větší vyhlazení vstupních dat. Křivky v grafech se budou více vyrovnávat a blížit se přímce. Tato problematika je podrobněji popsána v kapitole 9.

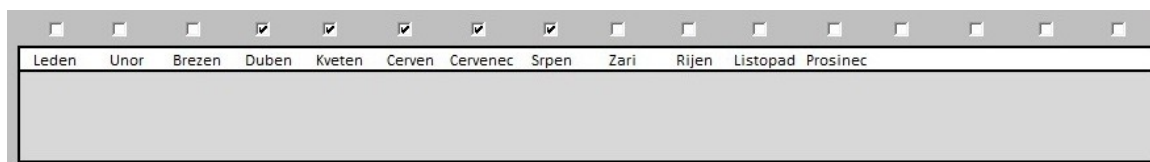
Tlačítko „Vlastní průměr“:

Toto tlačítko Obr. 57 umožní uživateli vypočítat si vlastní průměr hodnot. Aby uživatel mohl toto tlačítko použít, musí si zvolit, z jakého klouzavého průměru chce generovat vlastní výběr. Tento klouzavý průměr si vybere z nabídky „klouzavý průměr pro vlastní výběr“. Dále uživatel musí nastavit, jaká časová období chce zahrnout do vlastního výběru Obr. 58. Vlastních výběrů si uživatel může vytvořit pro několik variant. Vypočtené hodnoty se ukládají do listu výběr, v našem případě, do listu „VteVyber“ Obr. 59.

Data v tomto listě jsou uložena tak, že na prvním řádku je název výběru. Tento název stanoví, podle kterého klouzavého průměru byla data počítána. Případná hodnota za pomlčkou, je jen pro odlišení názvů (kolikátý vlastní výběr je to pro daný klouzavý průměr). Buňka s názvem nese také komentář, jaké časové úseky byly zvoleny pro daný výběr. Vhodné v případě, že je uživatelem vytvořen větší počet vlastních výběrů. Pro případnou zpětnou verifikaci údajů anebo pro pozdější uživatelovu lepší přehlednost.



Obr. 57: Vlastní výběr.



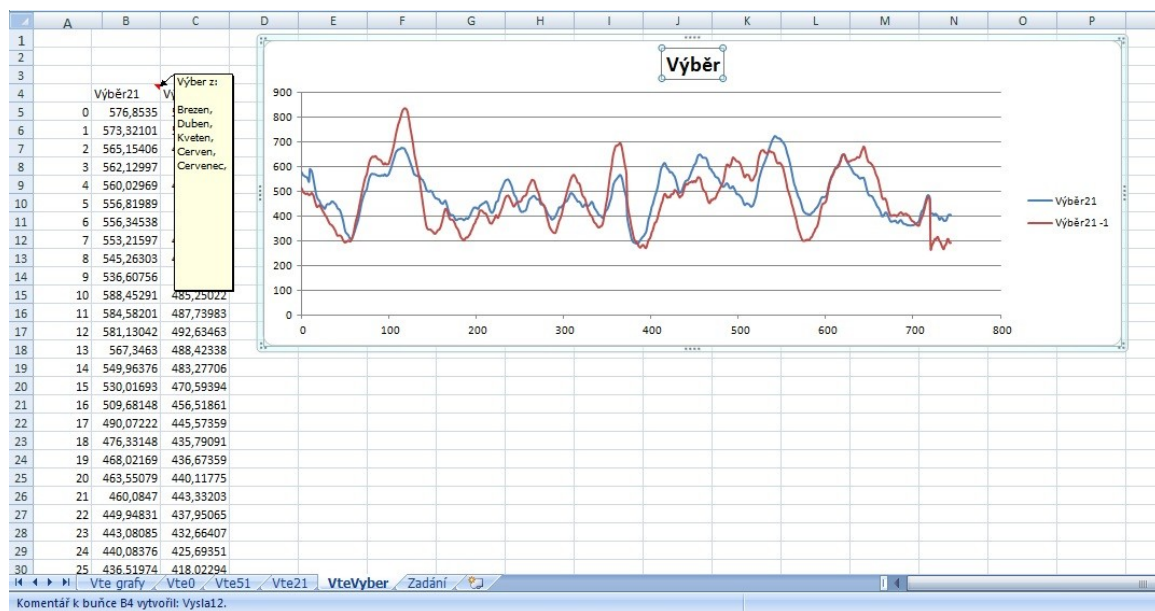
Obr. 58: Volba měsíců.

Při volbě vlastního výběru se jedná spíše o subjektivní nastavení. Uživatel by měl vycházet z listu grafy, kde názorně uvidí, které měsíce jsou si podobné. A právě pro tyto měsíce si může nastavit vlastní výběr tak, aby zjistil, jaký je pro ně průměrný výkon. Může tak získat například minimální anebo maximální průměrnou křivku výkonu zdroje, kterou může použít k dalšímu zpracování. Nebo tímto způsobem stanovovat různé typové křivky zdroje.

Tlačítko „Graf pro vlastní průměr“:

Toto tlačítko Obr. 57 umožní uživateli názorné grafické zobrazení hodnot vlastního průměru (popsáno v části před touto). Aby uživatel mohl toto tlačítko použít, musí mít již vytvořený alespoň jeden vlastní průměr. Při stisknutí tlačítka „graf pro vlastní průměr“ bude vygenerován graf ze všech vlastních průměrů v listu obsažených. Tento graf se generuje do listu

výběr Obr. 59, v tomto případě do listu „VteVyber“. Pokud se v tomto listě nachází více vlastních výběrů, každý vlastní výběr bude reprezentovaný jednou křivkou v grafu. Toto tlačítko může být stisknuto opakovaně. Při opětovném stisknutí tlačítka bude vygenerován další graf z aktuálních výběrů. Grafy budou v listě seřazeny pod sebe. Například pokud před opětovným stisknutím tlačítka uživatel vygeneruje další vlastní výběr, bude tento graf obsahovat o jednu křivku na víc.



Obr. 59: Ukázka listu výběr.

Tlačítko „Vypočítat odchylky“:

Tlačítko „vypočítat odchylky“ je poslední tlačítko, které může uživatel použít ke generování nových hodnot. Před kliknutím na tlačítko si uživatel zvolí, co chce stanovit, viz Obr. 60. Uživatel má na výběr čtyři možnosti:

- *Porovnat období vyhlazené a nevyhlazené;*
Porovnají se jednotlivá data z listu se zvoleným vyhlazením a vstupními hodnotami. Kde vyhlazená data jsou brána jako vztažná.
- *Porovnání období s jejich více ročním průměrem;*
Z vyhlazeného listu jsou stanoveny více roční průměry období. Od těchto průměrů se odečítají jednotlivá období ze vstupních dat.
- *Porovnání období s celým průměrem;*
Celkový průměr z vyhlazených dat je brán jako vztažný. A od těchto hodnot se odečítají jednotlivá vstupní data.
- *Porovnat vlastní průměr s nevyhlazenými daty;*
Celkový průměr z vlastního výběru je brán jako vztažný. A od těchto hodnot se odečítají jednotlivá vstupní data.

Pro první tři možnosti si musí uživatel zvolit, pro které klouzavé průměry chce vypočítat odchylky. Zvolený klouzavý průměr zaškrtně v tabulce „Listy pro prohledání“ Obr. 60. Tabulka listy pro prohledání je automaticky aktualizována podle vygenerovaných listů s klouzavými

průměry. Možnost porovnat vlastní průměr s nevyhlazenými daty je závislá na vygenerovaném vlastním výběru.

☒ Porovnat období vyhlazené a nevyhlazené
☒ Porovnat období s jejich výceročním průměrem
☒ Porovnat období s celým průměrem
☒ Porovnat vlastní průměr s nevyhlazenými daty

Vypočítat odchylky

označ vše

Listy pro prohlédání

Vte51
Vte21

označ vše

Obr. 60: Výpočet odchylky.

Po stisknutí tlačítka je vytvořen list hodnoty, v tomto případě list „VteHodnoty“ Obr. 61. List obsahuje data s odchylkami pro jednotlivé listy a jednotlivé varianty podle zadání. V listě hodnoty jsou první tabulky s jednotlivými hodnotami pro všechna období a pod nimi se nachází tabulky s průměrnými hodnotami jednotlivých období. Tabulky jsou řazeny podle variant (porovnat období vyhlazené a nevyhlazené, porovnat období s jejich více ročním průměrem, ...), a poté podle zvolených vygenerovaných listů klouzavých průměrů.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
1																								
2	Instalovaný výkon zdrojů: 2000 kW																							
3	Leden	Leden	Leden	Unor	Unor	Unor	Brezen	Brezen	Brezen	Brezen	Duben	Duben	Duben	Duben	Kveten	Kveten	Kveten	Kveten	Cerven	Cerven	Cerven	Cervenec	Cervenec	
4	2008	2009	2010	2008	2009	2010	2007	2008	2009	2010	2007	2008	2009	2010	2007	2008	2009	2010	2007	2008	2009	2007	2008	
5	Odchylka (MWh) Porovnání dat z listů Vte0 a Vte21 odečtení Vte21 - Vte0																							
6	kladná	110,6	85,1	62,3	88,5	51,2	76,1	97,2	76,6	86,3	92,3	80,0	69,0	81,1	78,0	88,2	63,9	75,1	38,6	68,6	65,1	86,5	60,2	75,3
7	záporná	-108,8	-84,1	-62,3	-86,5	-50,9	-76,5	-98,5	-79,4	-86,3	-92,1	-78,2	-69,4	-80,8	-79,0	-88,6	-64,3	-75,8	-35,5	-69,2	-64,4	-85,6	-59,9	-76,2
8	celková	219,4	169,2	124,7	175,0	102,1	152,7	195,7	156,1	172,6	184,4	158,1	138,4	161,9	157,0	176,8	128,3	150,9	74,0	137,8	129,4	172,2	120,2	151,4
9																								
10																								
11	Odchylka (MWh) Porovnání dat z listů Vte0 a VteVýber průměr Výběr21 z VteVýber - jednotlivé měsíce Vte0 1																							
12	kladná	75,8	151,1	236,4	108,4	194,8	95,7	140,8	210,8	119,9	116,6	166,6	174,3	102,1	161,7	152,1	156,9	173,0	85,4	175,1	202,8	116,9	224,5	181,7
13	záporná	-412,8	-290,2	-168,4	-245,7	-110,9	-214,4	-270,3	-145,9	-199,5	-248,9	-117,9	-132,7	-232,0	-113,5	-163,1	-143,4	-103,9	-102,7	-74,3	-65,4	-164,3	-86,5	-130,8
14	celková	488,7	441,3	404,8	354,1	305,8	310,1	411,1	356,7	319,4	365,6	284,5	307,0	334,2	275,3	315,1	300,3	276,8	188,1	249,4	268,2	281,1	311,0	312,5
15																								
16																								
17																								
18	Odchylka (MWh) Porovnání dat z listů Vte0 a Vte21 odečtení Vte21 - Vte0																							
19	kladná	86,0	71,9	88,1	77,0	66,4	73,4	68,5	57,3	66,3	79,0	95,3	84,1											
20	záporná	-85,1	-71,3	-89,1	-76,8	-66,0	-73,0	-68,7	-57,0	-66,3	-79,5	-96,1	-83,6											
21	celková	171,1	143,2	177,2	153,9	132,5	146,5	137,2	114,3	132,6	158,6	191,4	167,7											
22																								
23																								
24																								
25	Odchylka (MWh) Porovnání dat z listů Vte0 a VteVýber průměr Výběr21 z VteVýber - jednotlivé měsíce Vte0																							
26	kladná	154,4	133,0	147,0	151,2	141,8	164,9	203,7	224,6	156,1	143,3	95,3	117,8											
27	záporná	-290,5	-190,4	-216,2	-149,0	-128,3	-101,3	-90,7	-64,0	-164,8	-224,3	-300,5	-276,6											
28	celková	444,9	323,3	363,2	300,2	270,1	266,3	294,5	288,7	320,9	367,6	395,8	394,4											
29																								
30																								
31																								
32																								
33																								
34																								
35																								

Obr. 61: Ukázka listu hodnoty.

Pokud uživatel stiskne tlačítko, když je už vygenerován list hodnoty, nabídne se mu možnost stávající list přejmenovat. Název aktuálního listu s výstupními hodnotami je zapsán v kolonce „Podrobné výsledky jsou v listě:“ Obr. 62.

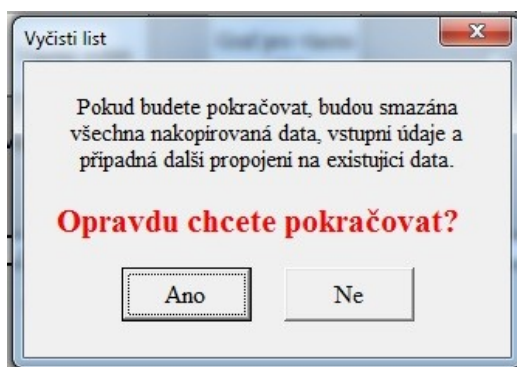
Pokud si uživatel zvolí možnost porovnat vlastní průměr s nevyhlazenými daty, budou tyto hodnoty také zobrazeny v zadávací části Obr. 62. Zde budou zobrazeny pouze průměry pro jednotlivá období, ale pouze ze čtyř vlastních výběrů. Ostatní hodnoty najde uživatel v listě hodnoty s ostatními výsledky.

Vlastní průměr	Leden	Unor	Březen	Duben	Kveten	Cerven	Cervenec	Srpen	Zari	Ríjen	Listopad	Prosinec	
Vyběr21	446,4	323,8	361,4	296,6	266,8	259,9	280,1	274,5	318,6	367,4	400,5	397,2	3993,1 MWh
Vyběr21-1	441,2	322,0	379,3	291,3	261,5	250,5	282,4	270,4	319,1	366,8	401,2	394,0	3979,7 MWh

Obr. 62: Ukázka části zadání při plném využití.

Tlačítko „Vyčistit list“:

Tlačítko „vyčisti list“ slouží pro vymazání všech hodnot ze zadávacího listu. Aby nedošlo k náhodnému stisknutí tlačítka, uživateli se po stisknutí tohoto tlačítka zobrazí informativní tabulka o tom, co se chystá podniknout. Nedochozí jen ke smazání vstupních dat a zadání, ale také ke ztrátě propojení s jednotlivými listy.



Obr. 63: Vyčisti list upozornění.

12.5.1 Závěr aplikace „zálohy“

Tato aplikace je napsána v MS Excel 2007 pomocí maker. Aplikace „zálohy“ byla vytvořena za účelem pomoci při provozování zdrojů se značně stochastickou dodávkou elektrického výkonu (např. větrné, fotovoltaické elektrárny, ...). Aplikace pracuje s již dříve naměřenými daty, která různým způsobem a metodami zpracovává. Pro získání přínosných výsledků je důležité, aby uživatel měl k dispozici dostatečně dlouhé kontinuální měření dat na zdroji nebo zdrojích.

Využívá se různých průměrných výkonů pro zvolená časová období. Tyto průměry se získávají pro různě stanovená období a také pro období zvolená uživatelem. Výpočty se provádí z naměřených dat nebo z vyhlazených dat. Vyhlazení může být provedeno v různých nastaveních (podle volby uživatele). Pro vyhlazení křivek je použita metoda klouzavých průměrů. Dále aplikace z těchto křivek stanoví, jaká by byla skutečná odchylka při uvažování dané průměrné křivky.

Stejně dobře může aplikace posloužit pro určení typových charakteristik zdroje pro zadané období. Jako nejvhodnější se jeví zvolit období v určitých časových periodách (např. měsíce, týdny, ...).

Aplikace může být také použita pro jednoduché a přehledné grafické vyhodnocení provozu větrné elektrárny.

12.6 Spolehlivost větrných elektráren a vytvořené aplikace

Spolehlivost se definuje jako obecná vlastnost objektu spočívající ve schopnosti plnit požadované funkce při zachování hodnot stanovených provozních ukazatelů v daných mezích a v čase podle stanovených technických podmínek. Spolehlivost je komplexní ukazatel a zahrnuje jednotlivé spolehlivostní vlastnosti (např. životnost, bezporuchovost, udržitelnost, skladovatelnost a ostatní vlastnosti). Důležitou otázkou v elektroenergetice je spolehlivost dodávky elektrické energie. Při výrobě elektrické energie z obnovitelných zdrojů, a to hlavně větru a slunce, je velikost dodávaného výkonu velmi závislá na intenzitě větru (slunce) [28].

Spolehlivost větrných elektráren můžeme chápat jako nepřetržitou dodávku kvalitní elektrické energie do sítě. Můžeme ji posuzovat ze dvou základních hledisek:

- ovlivnění soustavy vlivem dodávky stochastického výkonu větrné elektrárny;
- spolehlivost jednotlivých komponentů větrné elektrárny;

Za účelem zlepšení spolehlivosti obnovitelných zdrojů, především větrných elektráren, byla zpracována tato disertační práce, kde jsou popsány některé nepříznivé vlivy větrných elektráren na energetickou síť a možnosti akumulace elektrické energie. V rámci této práce byly vytvořeny dvě aplikace:

- Pomocí dlouhodobých vyhodnocování provozu větrných elektráren se může zjistit určité chování těchto zdrojů a částečně předvídat další výkon v určitých časových obdobích a tím přispět ke spolehlivosti energetických soustav. Za tímto účelem byla vytvořena aplikace „vyhodnocení“, viz kapitola 12.4.1.
- Další možností pro přispění lepší spolehlivosti energetických soustav je možnost stanovení typových diagramů větrných elektráren pro různá časová období. Pro stanovení typových charakteristik je určena aplikace „zálohy“, která může stanovit typové charakteristiky a dopočítá, jaký byl rozdíl od skutečného výkonu větrné elektrárny, viz kapitola 12.5.1.

13 Vyhodnocení provozu větrného parku pomocí napsané aplikace

13.1 Popis větrné farmy

Farma větrných elektráren Kryštofovy Hamry se rozkládá na hřebeni Krušných hor v nadmořské výšce 800-900 m, v oblasti obcí Měděnec, Rusová, a Kryštofovy Hamry. Je tvořena 21 stroji typu ENERCON 82 s třílistými vrtulemi o jmenovitém výkonu 2 000 kW. Výška stožáru větrných elektráren je 78m a průměr vrtule 82 m. Instalovaný výkon farmy je 42 MW. Jejím hlavním přínosem je obnovitelný charakter tohoto zdroje elektrické energie a minimální dopad na životní prostředí. ENERCON 82 má aktivní nastavování listů (PITCH) a je provozovaná s proměnným počtem otáček. Systém je bezpřevodkový, s mnohápólovým prstencovým generátorem s proměnnou frekvencí, stejnosměrnou spojkou a střídačem na plný výkon generátoru [18].

13.2 Použití aplikace „vyhodnocení“

Pro vyhodnocení provozu větrné elektrárny byla použita data za období 1. 11. 2008 až 13. 12. 2011. Měření obsahovalo 109184 vzorku. Vzorky byly v 15 minutových intervalech. Pro jednotlivé vygenerované roky není generován graf průběhu výkonu pro zadané období, protože vzorky v letech 2009 až 2011 přesahují povolenou hranici 32000 hodnot. Vytvořené listy jsou uvedeny přiloženy v příloze.

Z vygenerovaných listů vyplývá, že větrný park pracoval s největším koeficientem využitelnosti 28,4% v roce 2011. Pro rok 2008 byly k dispozici jen dva měsíce, a proto není koeficient využitelnosti z tohoto roku brán jako nejvyšší. Průměrný koeficient využitelnosti byl 26,6%. Průměrně byl park v provozu v 95,5% zkoumaného času. Největší nečinnost vykazoval park v roce 2010 a to 6,4%.

Při porovnání jednotlivých fází dne ráno (4-12 h), odpoledne (12-20 h) a večer (20-4 h) se jeví jako nejlepší fáze dne večer (20-4 h). Naopak nejmenší výkon byl dodáván v ranních fázích dne (4-12 h).

Z histogramů a statistické analýzy vyplývá, že nejčastěji vyskytovaný výkon byl cca 6,3 MW. Větrný park dosahoval cca v 70% svého provozu výkonu v rozmezí 0 – 15 MW, v 20% 15 – 35 MW a v 10% 35 – 42 MW.

Průměrný denní výkon za zkoumané období se pohyboval kolem hodnoty 11,6 MW.

14 Přínos disertační práce

Statistický rozbor rychlosti větru

Popis postupu a vyhodnocení rychlosti větru v oblasti větrné elektrárny (statistické zhodnocení několika fází dne).

Analýza větrné elektrárny VestasV90

Statistické vyhodnocení provozu větrné elektrárny VestasV90 z naměřených dat.

Aplikace „vyhodnocení“

Vytvoření aplikace v MS Excell 2007 pro zjednodušení vyhodnocování výkonu větrných elektráren, popřípadě i jiných zdrojů například fotovoltaické elektrárny.

Aplikace „zálohy“

Vytvoření aplikace v MS Excell 2007 pro jednoduché a přehledné grafické vyhodnocení provozu větrné elektrárny (použitelné i pro jiné zdroje energie). Stanovení průměrných křivek a vypočtení skutečné odchylky při uvažování dané průměrné křivky.

Vyhodnocení provozu větrného parku pomocí napsané aplikace

Vyhodnocení provozu větrného parku s elektrárnami ENERCON 82 ze získaných naměřených dat pomocí vytvořené aplikace.

15 Závěr

Je nutné si uvědomit, že větrné a fotovoltaické elektrárny mají velice stochastickou dodávku elektrické energie. Je potřeba jim věnovat značnou pozornost a snažit se buď tuto stochastiku předvídat predikcí, ale k tomu je potřeba četných měření na již vybudovaných a provozovaných elektrárnách, anebo energii získanou z těchto obnovitelných zdrojů akumulovat do vhodných systémů (vodík, různé baterie, přečerpávací elektrárna, ...).

Pro krytí nedodané energie z těchto elektráren se musí držet značné zálohy. S výstavbou těchto elektráren se musí tyto zálohy navyšovat. Dosáhnutí většího podílu obnovitelných zdrojů energie (hlavně z fotovoltaických a větrných elektráren) z celkově dodané elektrické energie v České republice by mohlo vést až k nestabilitě energetické sítě.

Zhodnocení statistického rozboru rychlosti větru

Statistická analýza byla provedena pomocí programu STATGRAPHICS 16 a Excel 2003. Data byla vyhodnocována hlavně na základě popisných charakteristik, histogramů a krabicových grafů, kde byly nejvíce patrné rozdíly v rychlostech větru pro jednotlivé časové fáze dne.

Pomocí Kruskal–Wallisova testu bylo zjišťováno, zda si střední hodnoty rychlosti větru pro jednotlivé fáze dne jsou rovny nebo se od sebe liší. Dále byla provedena post-hoc analýza pro potvrzení výsledku Kruskal–Wallisova testu. Analýza potvrdila, že si data pro jednotlivé fáze dne mezi sebou nejsou podobná.

V měsíci září 2007 byla největší intenzita větru večer s hodnotou mediánu 7. Za období měsíce ledna 2008 byla největší intenzita větru odpoledne s hodnotou mediánu 8,4. V únoru 2008 byla největší intenzita větru také odpoledne s hodnotou mediánu 6,9. Měsíc březen byl poznamenán častými výpadky měření, proto data nejsou úplná a statistická analýza je tímto ovlivněna. Intenzita větru byla nejsilnější pro večerní hodiny a hodnota mediánu činila 6,7.

Ze statistiky vyplývá, že se nedá jednoznačně říci, ve které fázi dne je síla větru největší. Ranní fáze dne se z hlediska intenzity větru jeví jako nejnižší. Dále je patrné, že časové období čtyř měsíců je krátké pro jednoznačné rozhodnutí, ve které fázi dne je síla větru intenzivnější.

Zhodnocení výkonu větrné elektrárny

Z naměřených a následně vyhodnocených dat je patrné, že větrná elektrárna dosahuje průměrného koeficientu využitelnosti cca 26 %. Jedná o moderní větrnou elektrárnu Vestas V90 o instalovaném výkonu 2 MW. Tohoto instalovaného výkonu elektrárna dosahovala jen výjimečně cca 1 %.

Při porovnání jednotlivých fází dne ráno (4-12 h), odpoledne (12-20 h) a večer (20-4 h) se jeví jako nejlepší fáze dne večer (20-4 h). Naopak nejmenší výkon byl dodáván v ranních fázích dne (4-12 h).

Průměrný procentní rozdíl výkonu mezi jednotlivými fázemi dne je ve zkoumaném období 14 %. Největší procentní rozdíl výkonu byl v červnu 2009 mezi ránem a večerem, a to 38 %. Obdobné hodnoty byly naměřeny v měsíci srpnu 2008. Nejvyrovnanějším měsícem byl březen 2009, kdy průměrný procentní rozdíl výkonu mezi jednotlivými fázemi dne byl 2 %. Průměrný procentní rozdíl výkonu z měsíčních největších odchylek jednotlivých fází dne byl 26 %.

Poměr doby provozu a doby nečinnosti větrné elektrárny je pro analyzované období cca 78:22. Jen ve měsíci listopadu 2008 je tento poměr výrazně menší. V tomto měsíci bylo provedeno jen krátké měření, což bylo způsobeno chybou na měřicím zařízení.

Z naměřených dat byl také výkon větrné elektrárny rozdělen do tří oblastí: malého, středního a velkého výkonu. Pro tuto analýzu byla použita data měsíců duben až říjen roku 2009. Ostatní data neobsahovala potřebné množství dat pro toto rozdělení. Oblast malého výkonu byla stanovena do 300 kW, oblast středního výkonu byla stanovena na 301-700 kW a oblast velkého výkonu byla stanovena na 701-2000 kW. Dodávka elektrické energie z větrné elektrárny činila v 60 % výkonu v rozmezí 200-950 kW.

Aplikace „vyhodnocení“

Za účelem zjednodušení vyhodnocení měření byla vytvořena aplikace pro vyhodnocování dat pomocí makra v MS Excelu 2007 - „vyhodnocení“. Tato aplikace byla vytvořena pro vyhodnocování dlouhodobých měření výkonu větrných elektráren, ale stejně dobře může posloužit pro vyhodnocování elektrického výkonu fotovoltaických elektráren nebo pro jakýkoliv jiný zdroj elektrické energie.

Aplikace nabízí možnost generování výstupních listů pro zadaná časová období s různými možnostmi vyhodnocení podle volby uživatele. Možnosti vyhodnocení jsou:

- graf průběhu výkonu pro zadané období;
- graf průměrného denního výkonu pro zadané období;
- graf podílu provozu a nečinnosti pro zadané období;
 - vyhodnocení poruchy (zde je zapotřebí zadat charakteristickou hodnotu výkonu pro poruchu);
- určení koeficientu využitelnosti pro zadané období;
- průměrný výkon pro jednotlivé fáze dne zadaného období;
- popisná statistika výkonu pro zadané období;
- četnosti výkonu pro zadané období;

Další možností aplikace je vytvoření souhrnného listu se souhrnnými informacemi z již vygenerovaných výstupních listů. Tento list poté podává přehledný obraz o provozu zkoumaného zdroje. Mohou se tak získat například souhrnné informace pro jeden rok nebo pro potřebné časové období po zvolených intervalech.

Aplikace „zálohy“

Tato aplikace je napsána v MS Excel 2007 pomocí maker. Aplikace „zálohy“ byla vytvořena za účelem pomoci při provozování zdrojů se značně stochastickou dodávkou elektrického výkonu (např. větrné, fotovoltaické elektrárny, ...). Aplikace pracuje s již dříve naměřenými daty, která různým způsobem a metodami zpracovává. Pro získání přínosných výsledků je důležité, aby uživatel měl k dispozici dostatečně dlouhé kontinuální měření dat na zdroji nebo zdrojích.

Využívá se různých průměrných výkonů pro zvolená časová období. Tyto průměry se získávají pro různě stanovená období a také pro období zvolená uživatelem. Výpočty se provádí z naměřených dat nebo z vyhlazených dat. Vyhlazení může být provedeno v různých nastaveních (podle volby uživatele). Pro vyhlazení křivek je použita metoda klouzavých průměrů. Dále

aplikace z těchto křivek stanoví, jaká by byla skutečná odchylka při uvažování dané průměrné křivky.

Stejně dobře může aplikace posloužit pro určení typových charakteristik zdroje pro zadané období. Jako nejvhodnější se jeví zvolit období v určitých časových periodách (např. měsíce, týdny, ...).

Vyhodnocení provozu větrného parku pomocí napsané aplikace

Z vygenerovaných listů vyplývá, že větrný park pracoval s největším koeficientem využitelnosti 28,4% v roce 2011. Pro rok 2008 byly k dispozici jen dva měsíce, a proto není koeficient využitelnosti z tohoto roku brán jako nejvyšší. Průměrný koeficient využitelnosti byl 26,6%. Průměrně byl park v provozu v 95,5% zkoumaného času. Největší nečinnost vykazoval park v roce 2010 a to 6,4%.

Při porovnání jednotlivých fází dne ráno (4-12 h), odpoledne (12-20 h) a večer (20-4 h) se jeví jako nejlepší fáze dne večer (20-4 h). Naopak nejmenší výkon byl dodáván v ranních fázích dne (4-12 h).

Z histogramů a statistické analýzy vyplývá, že nejčastěji vyskytovaný výkon byl cca 6,3 MW. Větrný park dosahoval cca v 70% svého provozu výkonu v rozmezí 0 – 15 MW, v 20% 15 – 35 MW a v 10% 35 – 42 MW.

Průměrný denní výkon za zkoumané období se pohyboval kolem hodnoty 11,6 MW.

16 Conclusion

It should be noted that wind and photovoltaic powers have considerably stochastic electricity supply. It is necessary to pay them a lot of attention and try either to forecast such stochastic by prediction, but a lot of measurements has to be carried out at already built and operated power stations, or to store the energy acquired from these renewable sources into appropriate systems (hydrogen, various batteries, booster power station, ...).

To cover the energy not supplied from such power stations the reserves have to be kept. These reserves have to increase together with the construction of such power stations. Reaching a higher RES share (especially from photovoltaic and wind power stations) out of the total supplied electricity in the Czech Republic could lead to power grid instability.

Evaluation of the statistical analysis of wind speed

Statistical analysis was performed by the help of program STATGRAPHICS 16 and Excel 2003. Data was evaluated especially on the basis of descriptive statistics, histograms and box diagrams. There were mostly evident differences in wind speeds for individual time phases of day.

Using the Kruskal-Wallis test was stated whether average values of wind speed for individual phases of day are equal or differ from each other. Was also performed post-hoc analysis for confirm the result of Kruskal-Wallis test. The analysis confirmed that data for each phase on each other are not similar.

In September 2007 was the biggest intensity of wind in the night time with a value of median 7. In a period of January 2008 was the biggest intensity of wind in the afternoon with a value of median 8,4. On February 2008 was the biggest intensity of wind in the afternoon with a value of median 6,9 too. March was signed of frequent fail of measurement, therefore, data are not complete and the statistical analysis is affected by this. The intensity was the biggest in night time and a value of median was 6,7.

The statistics result that it is not clear to say in which phase of day is the biggest power wind. The morning phase of day is, in respect of intensity of wind, the lowest. It is evident that time period of four months is too short for resolution in which phase of day is wind speed more intense.

Evaluation of power wind power

It is apparent from the measured and then assessed data that the wind power station reaches the average availability ratio of approx. 26 %. It is the modern Vestas V90 wind power station with installed capacity 2 MW. The power station reached this installed power only exceptionally at approx. 1 % of the time.

When comparing individual day stages in the morning (4-12 h), afternoon (12-20 h) and evening (20-4 h) evening seems the best daytime (20-4 h). Conversely, the lowest output was delivered in the morning stage (4-12 h).

The average percentage difference in the output between individual day stages is 14 % in the examined period. The highest percentage difference in the output was in June 2009 between the morning and evening, namely 38 %. Similar values were measured in August 2008. The most balanced month was March 2009 when the average percentage difference in the output between individual day stages was 2 %. The average percentage difference in the output from the largest deviations of individual day stages was 26 %.

The ratio of wind power plant operating time and its idle time is approx. 78:22 in the period analyzed. Only in November 2008 this ratio is much lower. Only short measurements were carried out in this month which was due to a defect on the measurement equipment.

Out of the data measured also the wind power station output was split into three areas: small, medium and large power station output. For this analysis the data from April to October 2009 was used. Other data did not include data enough for this split. The small output area was set up to 300 kW, medium output area was set to 301-700 kW and large output area was set to 701-2000 kW. Electricity supply from the wind power station was at 60 % of the output in the range of 200-950 kW.

Application of „evaluation“

With the view of simplification of evaluation was created application for evaluation of data by the help of MS Excel 2007 macros (“evaluation”). This application was created for evaluation of longtime measurements of wind powers output, but it may accommodate to evaluation of photovoltaic powers output or to other electric power energy as well.

Application offer to possibility of generating of exportation voucher for select time with different possibility of evaluation according to options of user:

- graph of power output for designated period of time;
- graph of the average daily power output for designated period;
- graph of share for operating and idle periods for designated period;
 - evaluation of breakdown (there is need of set of characteristic value of power output for breakdown);
- specification of availability ratio for designated period;
- the average power for each phase for designated period;
- descriptive statistic of power output for designated period;
- frequency of power output for designated period;

Next possibility of application is created of summary sheet with summary information from generated exportation voucher. This sheet represents recapitulation about operation of search of source. It can accommodate to summary information for one year or for necessary time upon select intervals.

Applications “reserve”

This application is in MS Excel 2007 by the help of macro. Application “reserve” was created with the view of help by operation of resources with stochastic supply of electrical output (e.g. wind powers, photovoltaic powers, ...). Application works with measured data that are worked by different way and methods. For acquirement of results is necessary that user keeps at disposition enough large continual measurement of data on the resource or resources.

It makes use of different average output for select time. These averages get for different select time and for user’s select time too. Calculations are done from measured data or from smoothed data. Smoothed data can be getting in different set (according to option of user). Smoothed data are getting by the help of method moving average. Next application determines from these curves what the real variance by calculation of determinate average curve.

This application can be used for determination of type characteristics of resource for select time. Optimal is election of specific period time (e. g. months, weeks, ...).

Evaluation of operation of wind farm by the help of application

From generated sheets is results that wind park works with the largest availability ratio 28,4 % in the year 2011. For the year 2008 was to disposition only two months and that is why availability ratio isn't take as the largest. Average availability ratio reached 26,6 %. On the average wind power was on operation in 95,5 % of research of time. The biggest inactivity wind park analyzed in the year 2010 – 6,4 %.

When comparing individual day stages in the morning (4-12 h), afternoon (12-20 h) and evening (20-4 h) evening seems the best daytime (20-4 h). Conversely, the lowest output was delivered in the morning stage (4-12 h).

From histograms and statistical analysis it results that the most frequent output was c. 6,3 MW. Wind park reached c. in 70 % of operation of output at intervals 0 – 15 MW, in 20 % 15 – 35 MW and v 10 % 35-42 MW.

Average daily output into researched time was c. 11,6 MW.

Seznam použité literatury

- [1] TRÁNÍČEK S., *Očekávané změny ekonomické regulace v dalším období III. regulační období*, cired tabor 2009
- [2] BERÁNKOVSKÝ J., TRUXA J., *Alternativní energie pro váš dům*, 2004, ISBN:80-86-517-89-6
- [3] MUSIL P., *Globální energetický problém a hospodářská politika*, 2009, ISBN:978-80-7400-112-3
- [4] CENKA K. a kolektiv, *Obnovitelné zdroje energie*, 2001, ISBN:80-901985-8-9
- [5] VUORINEN A. *Planning of Optima Power Systeme*, 2007, ISBN 978-952-1741-0
- [6] Pravidla provozování distribučních soustav – příloha 4: *Pravidla pro paralelní provoz zdrojů se sítí provozovatele distribuční soustavy*, www.ceps.cz
- [7] *The european wind energy association*, www.ewea.org
- [8] *Česká společnost pro větrnou energii*, www.csve.cz
- [9] *ČEPS a.s. Kodex PS*, www.ceps.cz
- [10] *Energetický regulační úřad*, www.eru.cz
- [11] VYSLOUŽIL M., *Připojení zdroje do sítě 22 kV*, 2007, diplomová práce
- [12] *perspektivy větrné energetiky v České republice*, 2008, www.vetrneelektrarny.bestweb.cz
- [13] RYVOLOVÁ I., *Ekonomické souvislosti využívání větrné energie v ČR*
- [14] CENEK, M. a kol., *Akumulátory od principu k praxi*, 2003, ISBN 80-86534-03-0
- [15] *VRB Power Systems*, <http://www.vrbpower.com>
- [16] *Electricity storage association*, www.electricitystorage.org
- [17] SOUČEK, I., *Strategické řízení*, ISBN 80-247-0939-2
- [18] VELEK, V., *Zkušenosti z provozu větrného parku 21x2 MW Kryštofovy Hamry*, CIRED 2009, Tábor
- [19] *Úvod do analýzy časových řad v SPSS*. Praha: SC&C. 38 s., 1999
- [20] HANČLOVÁ, TVRDÝ, *Úvod do analýzy časových řad*, VŠB-TU Ostrava, 2003
- [21] LITSCHMANNOVÁ, M., *Úvod do analýzy časových řad*, VŠB-TU Ostrava, 2010
- [22] ANDĚL J., *Statistická analýza časových řad*, Praha: SNTL 1976.
- [23] ARLT J., ARLTOVÁ M., RRULÍKOVÁ E. *Analýza ekonomických časových řad s příklady*. Oeconomica (VŠE Praha), 2002
- [24] WAILKENBACH J., *MS Excel programování ve VBA*, Computer Press Praha 1999
- [25] BROŽ M., BEZVODA V., *MS Excel vzorce funkce výpočty*, Computer Press Brno 2006
- [26] BREDEN M., SCHWIMMER M., *Excel 2007 VBA*, Computer Press 2009
- [27] BRIŠ, R., LITSCHMANNOVÁ, M., *Statistika I.*, Sylaby k předmětu 2004
- [28] TŮMA, J., RUSEK, S. a kol., *Spolehlivost v elektroenergetice*, CONTE, Praha 2006.

Seznam publikací autora

Článek v recenzovaném časopise - čeká se na zařazení do systému databáze Scopus - Jneimp

- [P1.] VYSLOUŽIL, M., HRADÍLEK, Z.: *Economy of renewable resources of energy operation*. časopis Advances in Electrical and Electronic Engineering, Žilina, 2008, s. 121-125, ISSN 1336-1376

Článek ve sborníku konference z databáze ISI Proceedings - D

- [P2.] VYSLOUŽIL, M., HRADÍLEK, Z.: The selection of storage system of energy from the wind power by help of the multi criteria analysis. EPE 2009, VŠB-TU Ostrava, 2009, s. 63-66, ISBN 978-80-248-1947
- [P3.] VYSLOUŽIL, M., HRADÍLEK, Z.: Stochastics in the electricity generation in wind and photovoltaic power stations, EPE 2010, VUT Brno, s. 395-399, ISBN 978-80-214-4094-4

Článek ve sborníku konference z databáze ISI Proceedings - D - čeká se na zařazení do systému

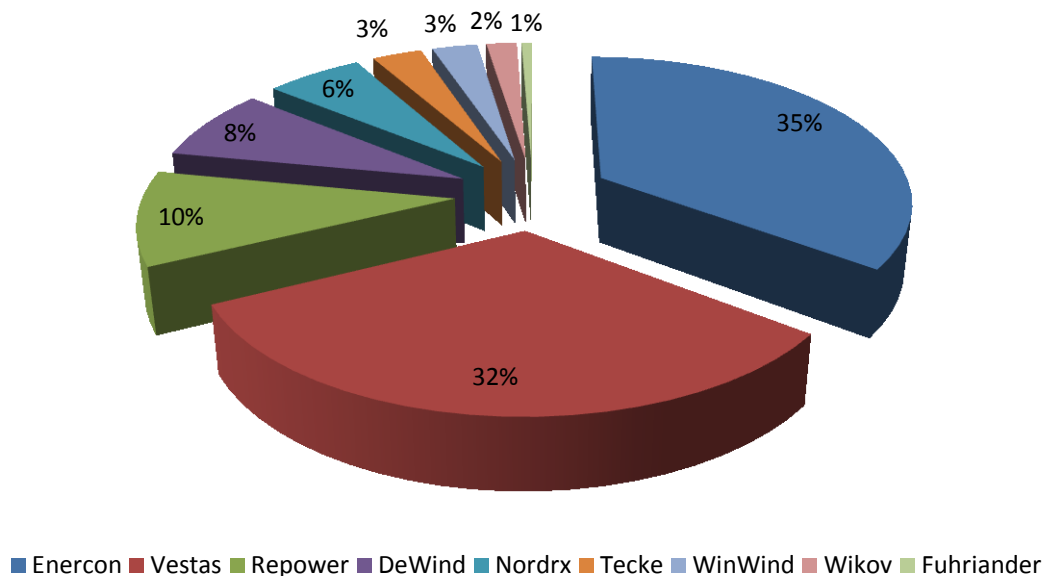
- [P4.] VYSLOUŽIL, M., HRADÍLEK, Z.: Application for evaluation of the electricity generation from wind and photovoltaic power stations. *Electric power engineering 2011*. Kouty nad Desnou 2011, ISBN 978-80-248-2393-5
- [P5.] VYSLOUŽIL, M., HRADÍLEK, Z.: Statistical analysis of wind speed for the wind power Veselí. *ELNET 2008*, Ostrava: VŠB-TU, 2008, 24-31, ISBN 978-80-248-1875-7
- [P6.] VYSLOUŽIL, M., HRADÍLEK, Z.: New Approach of Connecting Wind-Power Plant into 110 kV Power Network. *ELNET 2009*, VŠB-TU Ostrava, s. 16-22, ISBN 978-80-248-2146-7

Článek ve sborníku konference

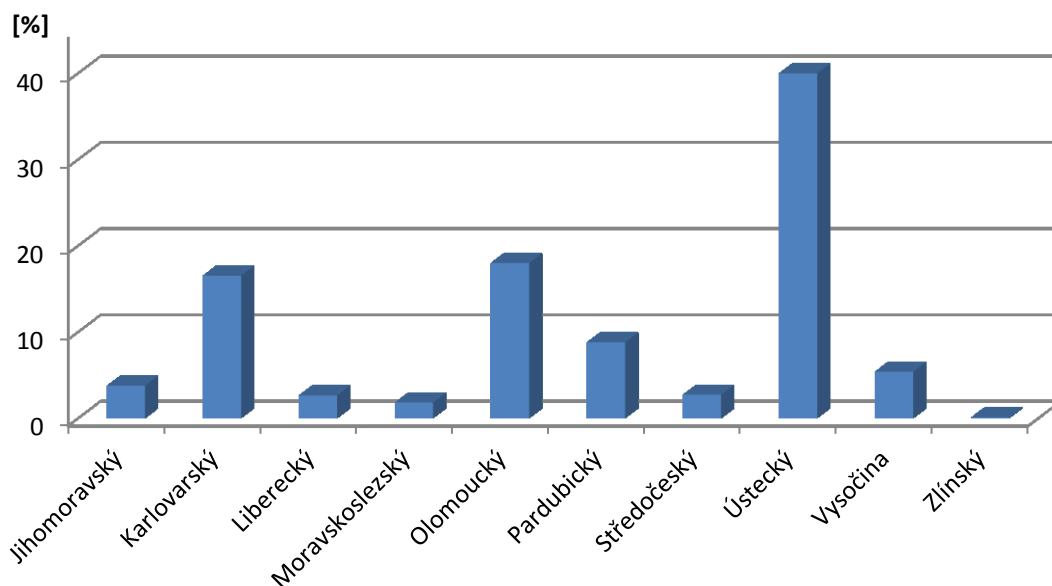
- [P7.] VYSLOUŽIL, M.: Method of statistic analysis of wind speed in the locality wind power Veselí. *Wofex 2008*, Ostrava: VŠB-TU, 2008, 160-164, ISBN 978-80-248-1807-8
- [P8.] VYSLOUŽIL, M.: Analysis of power for the wind power. *Wofex 2009*, VŠB-TU Ostrava, s. 118-123, ISBN 978-80-248-2028-6
- [P9.] VYSLOUŽIL, M., HRADÍLEK, Z.: The economic aspects of wind-power plants. *TRANSCOM 2009*, Žilina 978-80-554-0032-7
- [P10.] VYSLOUŽIL, M., HRADÍLEK, Z.: Renewable resources of energy and their economic aspects. *ELEN 2008*, ČVUT Praha, s. 24-31, ISBN 978-80-254-2293-9

17 Přílohy

Podíl instalovaných větrných elektráren podle výrobců v procentech



Podíl instalovaných větrných elektráren podle jednotlivých krajů v procentech

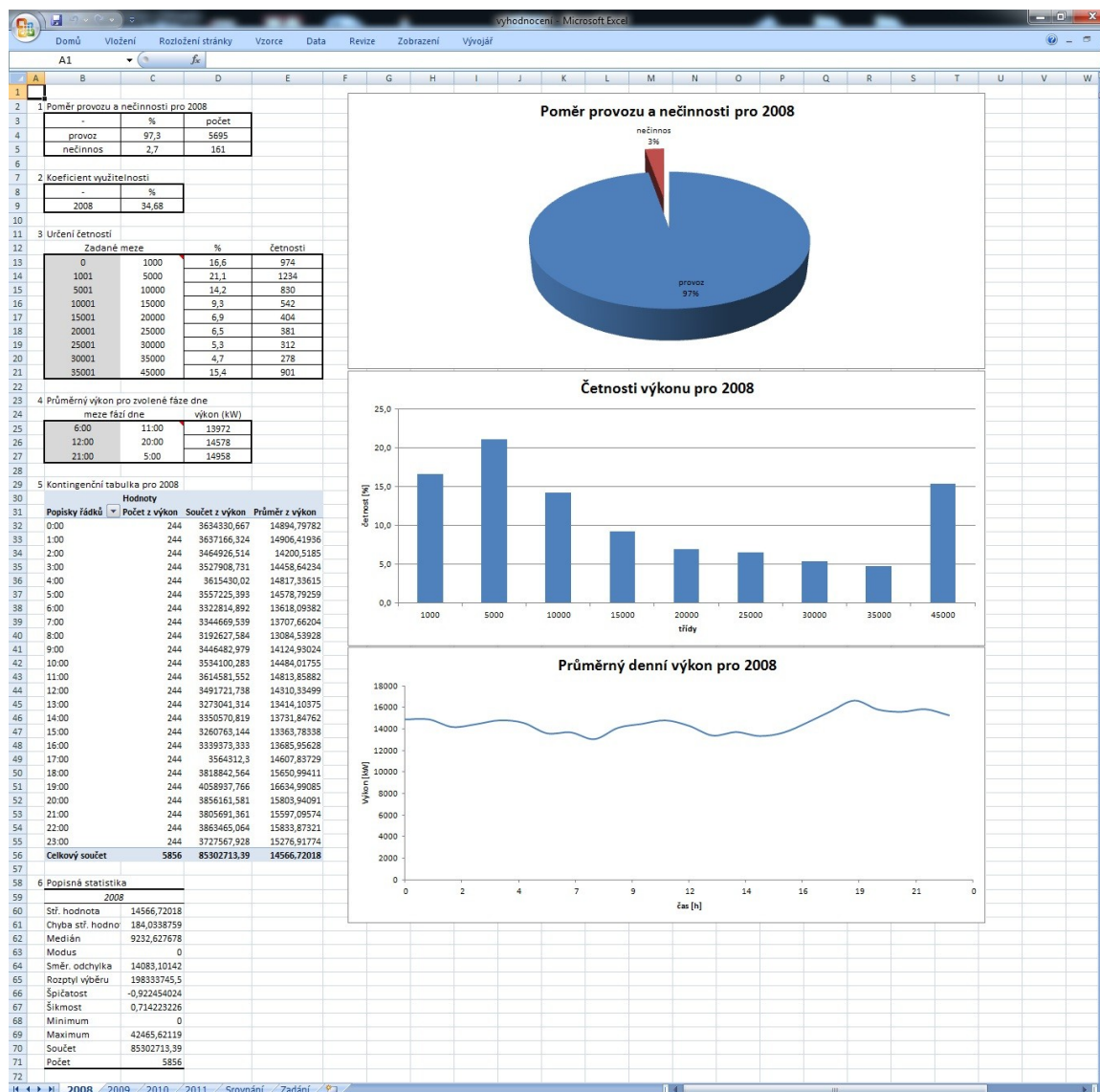


Aktualizace ke dni 22. 2. 2012

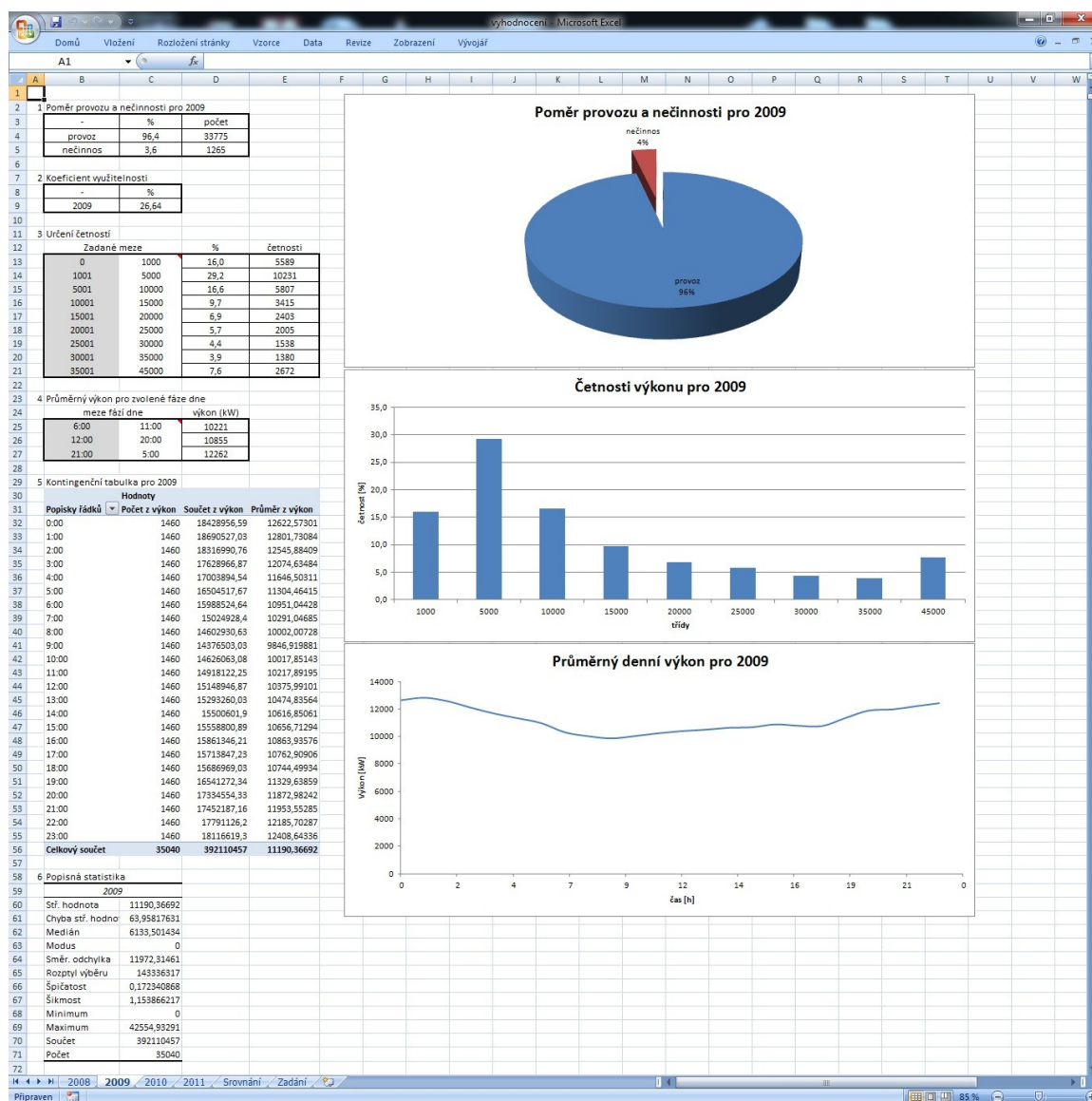
zdroj: www.csve.cz



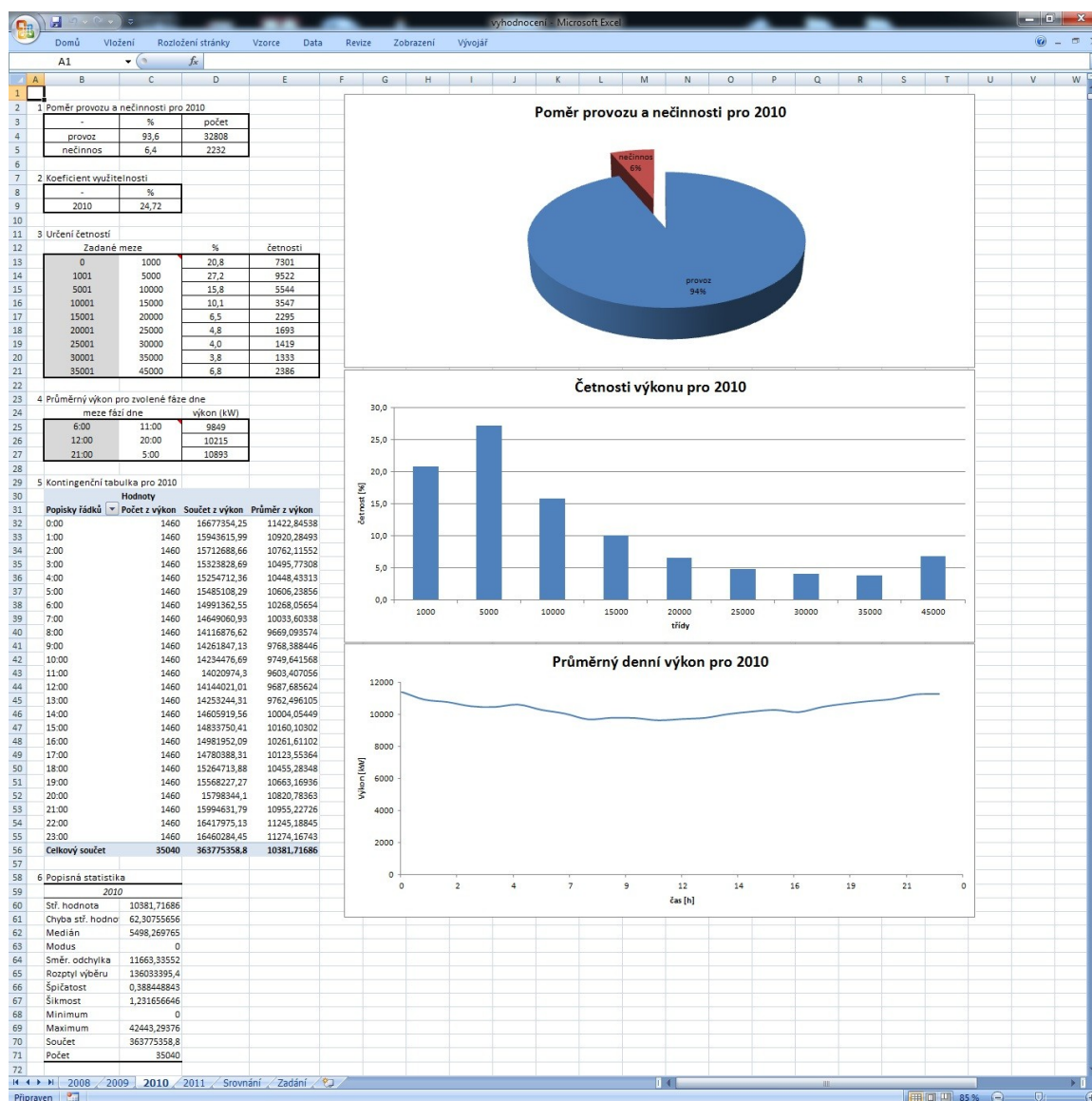
Vygenerovaný list za rok 2008 pro Kryštofovy Hamry 42x2MW



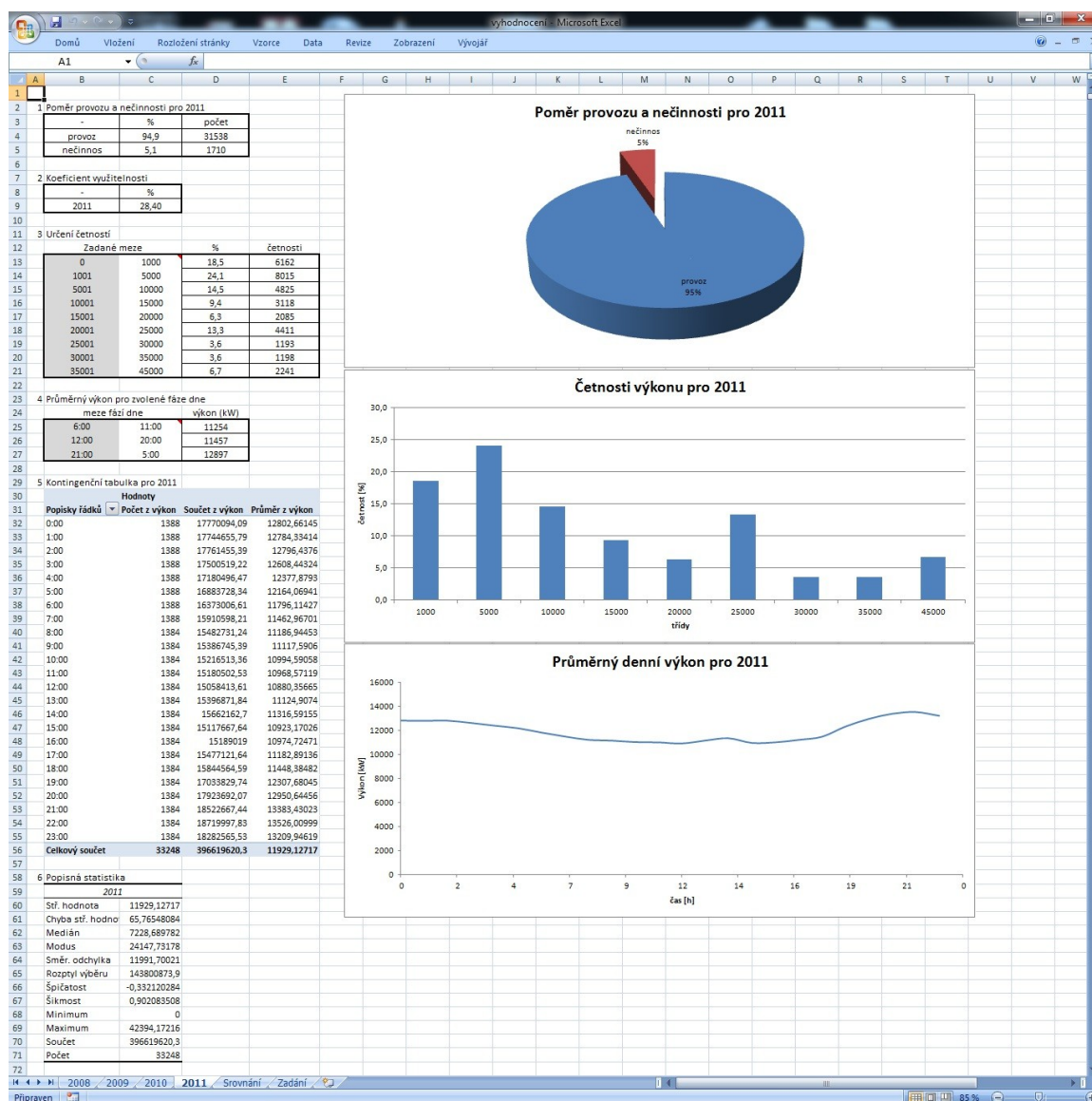
Vygenerovaný list za rok 2009 pro Kryštofovy Hamry 42x2MW



Vygenerovaný list za rok 2010 pro Kryštofovy Hamry 42x2MW



Vygenerovaný list za rok 2011 pro Kryštofovy Hamry 42x2MW



Vygenerovaný souhrnný list pro Kryštofovy Hamry 42x2MW

